

ISSN 2520-2235

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Баҳши Интеллект, Инноватсия, Инвеститсия

3 (75) 2026



ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции

POLYTECHNIC BULLETIN

Series: Intelligence. Innovation. Investments

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ



ISSN
2520-2235

3(75)

2026



**БАХШИ ИНТЕЛЛЕКТ, ИННОВАТСИЯ,
ИНВЕСТИЦИЯ**

МАҶАЛЛАИ ИЛМӢ – ТЕХНИКӢ

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

Published since January 2008

Маҷалла ба рӯйхати нашрияҳои тақризи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, КОА-и назди Вазорати таҳсилоти олии, илм ва инноватсияҳои Ҷумҳурии Ўзбекистон ва равияи физикаи он ба рӯйхати нашрияҳои тақризи КОА-и Федератсияи Россия ворид карда шудааст.

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

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

Маҷалла дар Вазорати фарҳанги Ҷумҳурии Тоҷикистон ба қайд гирифта шудааст
№ 408/МҚ-97 аз 09 апрели соли 2025

Индекси обунa 77762

РАВИЯИ ИЛМИИ МАҶАЛЛА	НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ЖУРНАЛА	SCIENTIFIC DIRECTION
01.01.00 Математика 01.04.00 Физика 05.13.00 Информатика, техникаи ҳисоббарор ва идоракунӣ 08.00.05 Иқтисод ва идоракунии хоҷагии халқ (аз рӯи соҳаҳо ва соҳаҳои фаъолият)	01.01.00 Математика 01.04.00 Физика 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление 08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)	01.01.00 Mathematics 01.04.00 Physics 05.13.00 Informatics, computer technology and management 08.00.05 Economics and management of the national economy (by industries and spheres of activity)

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

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

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
СЕРИЯ: ИНТЕЛЛЕКТ, ИННОВАЦИИ, ИНВЕСТИЦИИ

POLYTECHNIC BULLEEN
SERIES: INTELLIGENCE, INNOVATION,
INVESTMENTS

**ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ
САРМУҲАРРИР**

Қ.Қ. ДАВЛАТЗОДА
д.и.и., профессор

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

АЪЗОЁН

М.И. ИЛОЛОВ
академики АМИТ, доктори илмҳои физикаю
математика, профессор

М.М. САДРИДДИНОВ
номзади илмҳои физикаю математика, дотсент
С.З. ҚУРБОНШОЕВ
доктори илмҳои физикаю математика,
профессор

А.А. АБДУРАСУЛОВ
номзади илмҳои физикаю математика,
профессор

У. МАДВАЛИЕВ
доктори илмҳои физикаю математика

Т.Х. САЛИХОВ
доктори илмҳои физикаю математика

АНГЕЛ СМРИКАРОВ
доктори илм, профессор (Булғория)

Н.И. ЮНУСОВ
номзади илмҳои техникаю, дотсент

С.А. НАБИЕВ
номзади илмҳои техникаю, дотсент

У.Х. ҶАЛОЛОВ
номзади илмҳои техникаю, дотсент

А.А. ҚОСИМОВ
доктори илмҳои техникаю, дотсент

М.К. ФАЙЗУЛЛОЕВ
доктори илмҳои иқтисодӣ, дотсент

Ҳ.А. ОДИНАЕВ
доктори илмҳои иқтисодӣ, профессор

Ф.М. ҲАМРОЕВ
доктори илмҳои иқтисодӣ, дотсент

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

К.К. ДАВЛАТЗОДА
д.э.н., профессор

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

М.И. ИЛОЛОВ
академик НАНТ, доктор физико-математических
наук, профессор

М.М. САДРИДДИНОВ
кандидат физико-математических наук, доцент
С.З. КУРБОНШОЕВ
доктор физико-математических наук, профессор

А.А. АБДУРАСУЛОВ
кандидат физико-математических наук,
профессор

У. МАДВАЛИЕВ
доктор физико-математических наук.

Т.Х. САЛИХОВ
доктор технических наук, профессор

АНГЕЛ СМРИКАРОВ
доктор наук, профессор (Болгария)

Н.И. ЮНУСОВ
кандидат технических наук, доцент

С.А. НАБИЕВ
кандидат технических наук, доцент

У.Х. ДЖАЛОЛОВ
кандидат технических наук, доцент

А.А. КОСИМОВ
доктор технических наук, доцент

М.К. ФАЙЗУЛЛОЕВ
доктор экономических наук, доцент

Х.А. ОДИНАЕВ
доктор экономических наук, профессор

Ф.М. ХАМРОЕВ
доктор экономических 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 – ОГЛАВЛЕНИЕ

МАТЕМАТИКА - MATHEMATICS	5
<u>СОХТАНИ ПРОЕКТОРҶОИ ҒАЙРИХАТӢ БАРОИ СИСТЕМАИ МУОДИЛАҶОИ ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ТАРАФИ РОСТАШОН АНАЛИТИКӢ</u>	
М.М. Садриддинов	5
<u>ШАРТҶОИ КАНОРӢ БАРОИ МУОДИЛАИ ИНТЕГРАЛИИ ЯКЧЕНАКАИ МОДЕЛӢ</u>	
С.Б. Зарипов	14
ФИЗИКА - PHYSICS	24
<u>АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИАНТОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ И АССОЦИАЦИЙ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ГИССАРСКОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ</u>	
^{1,2} Х.Ф. Нурзода, ¹ М. Нарзиев, ¹ М.Н. Латипов	24
<u>МОРФОЛОГИЯ ВНУТРЕННЕЙ КОМЫ КОМЕТЫ 41P/TUTTLE-GIACOBINI-KRESÁK ПО ДАННЫМ ПЗС-НАБЛЮДЕНИЙ ГИССАРСКОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ</u>	
А.М. Буризода	36
ИНФОРМАТИКА, ТЕХНИКАИ ҲИСОББАРОР ВА ИДОРАКУНӢ - ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ - INFORMATICS, COMPUTER TECHNOLOGY AND MANAGEMENT	46
<u>ОИД БА УСУЛҶО, АЛГОРИТМҶОИ АРӢБӢИ САЛОҶИЯТҶОИ КАСБИИ ХАТМКУНАНДАГОНИ МТОК</u>	
¹ Х.А. Худойбердиев, ² Р.С. Яздонзода	46
<u>ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВС</u>	
Ш.Ш. Зияев, Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов	55
<u>МОДЕЛСОӢ ВА ТАҶИИ СИСТЕМАИ ИТТИЛООТИИ КАБИНЕТИ ИНФИРОДИИ ДОВТАЛАБ БАРОИ МАРКАЗИ МИЛЛИИ ТЕСТИИ НАЗДИ ПРЕЗИДЕНТИ ҶУМҶУРИИ ТОҶИКИСТОН</u>	
Х. Азиззода	65
<u>АМСИЛАСОЗИИ МАТЕМАТИКӢ ВА ТАСНИФОТИ АЛГОРИТМИИ ХАТОИҶО ДАР ПЛАТФОРМАИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИИ ОМУӢЗИШИ БАРНОМАСОӢ</u>	
М.К. Муродов	73
<u>ТАҶИИ КАЛИДИ БАДАЛСОӢ БО ТАРЗИ СТАХОСТИКӢ АЗ ИСТИФОДАИ ҶИҶО ВА МАССИВҶОИ ЯКЧЕНАКА ДАР БАДАЛСОЗИИ ОБЪЕКТҶОИ МАТНӢ</u>	
М.Ҷ. Фафуров, Д.А. Анварзода	88
ИҚТИСОД ВА ИДОРАКУНИИ ҲОҶАГИИ ХАЛҚ - ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ - ECONOMICS AND MANAGEMENT OF THE NATIONAL ECONOMY	94
<u>АМСИЛАИ ИҚТИСОДИЮ РИӢЗИИ МУАЙЯНСОЗИИ ТАЛАБОТ БА МУСОФИРБАРӢ ДАР ШАҶРИ ДУШАНБЕ</u>	
Ф.М. Ҳамроев, О.М. Сайфуллохзода, Х.Ш. Раҷабова	94
<u>УГРОЗЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТРАСЛИ</u>	
З.М. Каримова	101
<u>DIGITALIZATION OF THE TRANSPORT SECTOR AS AN IMPORTANT FACTOR IN IMPROVING FREIGHT TRANSPORT MANAGEMENT AND DEVELOPING LOGISTICS IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN</u>	
F.N. Nizomzoda, R. Shokirova	112
<u>СТРУКТУРНЫЕ ПРОПОРЦИИ И ДИНАМИКА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН: СТАТИСТИЧЕСКИЙ И ИНДЕКСНЫЙ АНАЛИЗ</u>	
Н.Р. Мукимова, Дж. Мирзохонидзода	119

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF THE POTENTIAL OF GORNO-BADAKHSHAN AUTONOMOUS REGION FOR THE FORMATION OF TRANSPORT AND LOGISTICS CENTERS

F.N. Nizomzoda, I.A. Amonulloev 132

ТРУДОВОЙ ПОТЕНЦИАЛ В СИСТЕМЕ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Н.Р. Мукимова¹, А.А. Назарзода² 141

ТАЪМИНИ АМНИЯТИ ОБИЮ ЭНЕРГЕТИКИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН: ВАЗЪИ ҲОЗИРА ВА ДУРНАМОИ ПЕШРАФТ

М.Ч. Буриева¹, С.Ҳ. Ҳасанзода² 153

ТАЪМИНИ ИНСТИТУТСИОНАЛИИ ИДОРАКУНИИ ИННОВАТСИЯҲО ДАР ШАРОИТИ МИНТАҚАҲОИ АГРОСАНОАТӢ

Д.М. Наимов 161

МАТЕМАТИКА - MATHEMATICS

УДК: 517.9

DOI: 10.65599/III3000

СОХТАНИ ПРОЕКТОРҲОИ ҒАЙРИХАТӢ БАРОИ СИСТЕМАИ
МУОДИЛАҲОИ ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ТАРАФИ РОСТАШОН
АНАЛИТИКӢ

М.М. Садриддинов

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

Дар мақола усули сохтани проекторҳои ғайрихатӣ барои системаи муодилаҳои дифференсиалии ғайрихатӣ, ки қисми рости онҳо дар фазои Банахӣ аналитикӣ мебошад, баррасӣ мегардад. Мақсади асосии тадқиқот таҳия ва асоснок намудани дастгоҳи мукаммали математикӣ барои сохтани проекторҳои ғайрихатӣ, муайян кардани хусусиятҳои аналитикии онҳо ва татбиқи самаранокии ин проекторҳо дар таҳлил ва омӯзиши амиқи сохтори динамикии, хосиятҳои сифатӣ ва рафтори локалии системаи муодилаҳои дифференсиалии ғайрихатӣ мебошад. Проекторҳои ғайрихатӣ сохтасуда имкон медиҳанд, ки фазои фазавӣ ба зерфазоҳои инвариантии мувофиқ ба бисёршаклаҳои устувор, ноустувор ва марказӣ ҷудо карда шавад. Дар усули пешниҳодшуда ҷудокунии спектралӣ қисми хатӣ система ҳамчун воситаи асосии омӯзиши хусусиятҳои динамикии қисми ғайрихатӣ истифода мешавад. Натиҷаҳои тадқиқот аҳамияти проекторҳои ғайрихатиро дар ошкорсозии сохтори геометрии фазои фазавӣ, таҳлили устувории ноустуворӣ ва инчунин омӯзиши рафтори асимптотикии ҳалли система дар атрофи нуқтаи мувозинат нишон медиҳанд. Усули мазкур инчунин имкон медиҳад, ки робитаи байни хусусиятҳои спектралӣ қисми хатӣ ва сохтори динамикии қисми ғайрихатӣ система муайян карда шавад. Дар қисми хотимаӣ мисоли мушаххас оварда шуда, алгоритми сохтани проекторҳои ғайрихатӣ ва татбиқи амалии усули пешниҳодшуда пайдарпай нишон дода мешавад.

Калидвожаҳо: системаи муодилаҳои дифференсиалии ғайрихатӣ, проекторҳои ғайрихатӣ, проекторҳои хатӣ, ҷудокунии спектралӣ, фазои Банахӣ, зерфазоҳои инвариантии, бисёршаклаҳои устувор, ноустувор ва марказӣ, спектри матритса, назарияи устуворӣ, функсияи аналитикӣ.

ПОСТРОЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЕКТОРОВ ДЛЯ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ
УРАВНЕНИЙ С АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ

М.М. Садриддинов

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

В статье рассматривается метод построения нелинейных проекторов для систем нелинейных дифференциальных уравнений с аналитической правой частью в банаховом пространстве. Основной целью исследования является разработка и теоретическое обоснование математического аппарата построения нелинейных проекторов, исследование их аналитических свойств, а также применение полученных результатов для углублённого анализа динамической структуры, качественных характеристик и локального поведения нелинейных систем дифференциальных уравнений. Построенные нелинейные проекторы позволяют разбить фазовое пространство на инвариантные подпространства, соответствующие устойчивому, неустойчивому и центральному многообразиям. В предлагаемом методе спектральное разложение линейной части системы используется как основной инструмент исследования динамических свойств ее нелинейной части. Результаты исследования демонстрируют важность нелинейных проекторов для выявления геометрической структуры фазового пространства, анализа устойчивости и неустойчивости, а также для изучения асимптотического поведения решений в окрестности точки равновесия. Данный метод также позволяет установить взаимосвязь между спектральными характеристиками линейной части и динамической структурой нелинейной части системы. В заключительной части приводится конкретный пример, последовательно иллюстрирующий алгоритм построения нелинейных проекторов и практическое применение предложенного метода.

Ключевые слова: системы нелинейных дифференциальных уравнений, нелинейные проекторы, линейные проекторы, спектральное разложение, банахово пространство, инвариантные подмножества, устойчивые, неустойчивые и центральные многообразия, спектр матрицы, теория устойчивости, аналитическая функция.

CONSTRUCTION OF NONLINEAR PROJECTORS FOR SYSTEMS OF DIFFERENTIAL
EQUATIONS WITH AN ANALYTIC RIGHT-HAND SIDE

M.M. Sadriddinov

Tajik technical university named after academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of
Tajikistan

The article considers a method for constructing nonlinear projectors for systems of nonlinear differential equations with an analytic right-hand side in a Banach space. The main objective of the study is to develop and provide a theoretical justification for a mathematical framework for constructing nonlinear projectors, to investigate their analytic properties, and to apply the obtained results to an in-depth analysis of the dynamical structure, qualitative characteristics, and local behavior of nonlinear systems of differential equations. The constructed nonlinear projectors make it possible to decompose the phase space into invariant sets corresponding to stable, unstable, and center manifolds. In the proposed method, the spectral decomposition of the linear part of the system is used as the main tool for investigating the dynamical properties of its nonlinear part. The results of the study demonstrate the importance of nonlinear projectors in revealing the geometric structure of the phase space, analyzing stability and instability, and studying the asymptotic behavior of solutions in the

neighborhood of an equilibrium point. This method also makes it possible to establish the relationship between the spectral characteristics of the linear part and the dynamical structure of the nonlinear part of the system. In the final section, a specific example is presented, illustrating the algorithm for constructing nonlinear projectors and the practical application of the proposed method.

Keywords: systems of nonlinear differential equations, nonlinear projectors, linear projectors, spectral decomposition, banach space, invariant manifolds, stable, unstable and central manifolds, matrix spectrum, stability theory, analytic function.

Муқаддима (Introduction)

Проекторҳои ғайрихаттӣ дар бисёр масъалаҳои механика, физика, идоракунии оптималӣ, назарияи сифатии муодилаҳои дифференсиалӣ ва системаҳои муодилаҳои дифференсиалии ғайрихаттӣ нақши муҳим мебозанд. Ин масъалаҳо дар тадқиқоти илмии муҳаққиқони бузурги соҳа К.Г. Валеев [1], А.М. Ляпунов [5], Л.С. Понтрягин [7] ва шогирдони онҳо ба таври назаррас инъикос ёфтаанд. Мақсади асосии истифодаи проекторҳои ғайрихаттӣ дар масъалаи мазкур аз ҷудо намудани фазои ҳолати система ба зерфазоҳои инвариантӣ иборат аст, ки ҳар кадоми онҳо хусусиятҳои динамикии хоси худро доранд. Чунин ҷудокунии фазо ба зерфазоҳои инвариантӣ имконият медиҳад, ки ҳолатҳои устуворӣ, ноустуворӣ ва рафтори асимптотикии система дақиқтар муайян карда шуда, ҳалли масъалаи мазкур осонтар гардад. Илова бар ин, сохтани проекторҳои ғайрихаттӣ барои системаҳои муодилаҳои дифференсиалии ғайрихаттӣ тарафи рӯсташон аналитикӣ ҳанӯз ҳам яке аз самтҳои муҳимми таҳқиқоти муосир ба шумор меравад.

Мавод ва усулҳои тадқиқот (Materials and Methods)

Тадқиқоти мазкур ба омӯзиш ва таҳияи усули сохтани проекторҳои ғайрихаттӣ барои системаи муодилаҳои дифференсиалии ғайрихаттӣ тарафи рӯсташон аналитикӣ дар фазои Банахӣ бахшида шудааст. Бо мақсади сохтани проекторҳои ғайрихаттӣ ва омӯзиши хусусиятҳои динамикии системаи мазкур, системаи муодилаҳои дифференсиалии ғайрихаттӣ

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + \varepsilon F_1(t, x, y) + \varepsilon E_1(t, x, y), & x \in \mathbf{B}_1, \\ \frac{dy}{dt} = By + \varepsilon F_2(t, x, y) + \varepsilon E_2(t, x, y), & y \in \mathbf{B}_2 \end{cases} \quad (1)$$

- ро бо шартҳои аввалин

$$x(t_0) = x_0 \text{ ва } y(t_0) = y_0 \quad (2)$$

мавриди баррасӣ ва тадқиқ қарор медиҳем. Қайд мекунем, ки дар ин ҷо $x(t) \in R^m$ ва $y(t) \in R^n$ - функсияҳои номаълум, $A (A \in R^{m \times m})$ ва $B (B \in R^{n \times n})$ - матритсаҳои андозаҳои мувофиқ $m \times m$ ва $n \times n$, ε ($0 < \varepsilon < 1$) - параметр, $F_j(t, x, y)$ ва $E_j(t, x, y)$ ($j=1, 2$) - вектор-функсияҳои маҳдуди мутаалуқи фазои Банахӣ $\mathbf{B}_1$ ва $\mathbf{B}_2$ мебошанд.

Фарз мекунем, ки вектор - функсияҳои $F_j(t, x, y)$ ва $E_j(t, x, y)$ ($j=1, 2$) дар соҳаи D :

$$\|x\| \equiv \max_{1 \leq j \leq m} \|x_j\| \leq \delta, \|y\| \equiv \max_{1 \leq s \leq n} \|y_s\| \leq \delta, \delta > 0, -\infty < t < +\infty, \quad (*)$$

муайян мебошанд, нисбат ба t бефосила буда, дар атрофи нуқтаи $(0, 0)$ нисбат ба тағйирёбандаҳои фазавии x ва y барои ҳамаи қиматҳои мувофиқи параметр шarti Липшицсро қонеъ мегардонанд [1]:

$$\begin{aligned} & \|F_1(t, x_1, y_1) - F_2(t, x_2, y_2)\| + \|E_1(t, x_1, y_1) - E_2(t, x_2, y_2)\| \leq \\ & \leq L_1 \{\|x_1 - x_2\| + \|y_1 - y_2\|\} + L_2 \{\|x_1 - x_2\| + \|y_1 - y_2\|\}, \end{aligned}$$

ки дар ин ҷо L_1 ва L_2 - доимии Липшиц мебошанд. Иҷро гардидани шартҳои мазкур барои асоснок намудани мавҷудият ва ягонагии ҳалли масъалаи Кошӣ аҳамияти муҳим дошта, инчунин имконияти таҳлили вобастагии ҳалли система аз шартҳои аввала ва параметрҳоро фароҳам меорад.

Барои содатар намудани таҳлили минбаъдаи масъала ва таъмини тадқиқазии усулҳои пешниҳодшуда нисбат ба системаҳои (1) ҳангоми $x = 0$ ва $y = 0$ ва қиматҳои муайяни параметр маҳдудиятҳои зеринро дохил менамоем:

$$|F_j(t, x, y)| \leq M_1 \text{ ва } \|E_j(t, x, y)\| \leq M_2 \quad (j = 1, 2), \quad (**)$$

ки дар ин ҷо $M_r (r=1, 2)$ - ададҳои доимии мусбат мебошанд. Маҳдудиятҳои дохилшуда имкон медиҳанд, ки таъсири қисми ғайрихаттии система ба рафтори ҳалли он баҳогузори гардида, шартҳои зарурӣ барои татбиқи усулҳои таҳлили сифатӣ таъмин карда шаванд. Дар ҷараёни тадқиқот усулҳои назарияи муодилаҳои дифференсиалӣ дар фазои Банахӣ, таҳлили функционалӣ, назарияи операторҳо ва усулҳои таҳлили математикӣ истифода мешаванд. Бо истифода аз ин усулҳо шартҳои мавҷудият ва ягонагии ҳалли система, вобастагии он аз шартҳои аввала ва параметрҳо, инчунин хусусиятҳои сифатӣ ва сохтори динамикии ҳалли система таҳлил карда мешаванд. Ҳамчунин, дар тадқиқот хусусиятҳои спектралӣ қисми хаттии система ҳамчун воситаи асосии омӯзиши динамикаи қисми ғайрихаттӣ истифода мешаванд. Ин равиш имконият медиҳад, ки таъсири қисми ғайрихаттӣ ба сохтори фазои фазавӣ муайян гардида, заминаи назариявӣ барои сохтани проекторҳои ғайрихаттӣ ва таҳлили зерфазоҳои инвариантии система фароҳам оварда шавад.

Натиҷаҳои тадқиқот (Results)

Бигзор, дар системаи (1) параметри $\varepsilon = 0$ бошад. Дар ин ҳолат системаи (1) ба ду зерсистемаи муодилаҳои дифференсиалии хаттии аз ҳамдигар новобаста ҷудо мешавад, ки дорои хосияти экспоненсиалию дихотомӣ [2] мебошанд:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax, & x \in \mathbf{B}_1, \\ \frac{dy}{dt} = By, & y \in \mathbf{B}_2. \end{cases} \quad (3)$$

Бо назардошти шартҳои (2) ва нобаробариҳои (*) ва (**), ҳалли системаи (3) намуди зеринро мегирад:

$$\begin{cases} x(t) = e^{A(t-t_0)} x_0, \\ y(t) = e^{B(t-t_0)} y_0, \end{cases} \quad (4)$$

ки дар ин ҷо $\|e^{A(t-t_0)}\| \leq P e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (t \geq t_0)$ ва $\|e^{B(t-t_0)}\| \leq N e^{\beta(t-t_0)} \quad (t < t_0)$ мебошад.

Бо истифода аз нобаробариҳои (*), (**) ва системаи (4), иняунин тадқиқи усули вариатсияҳои доимии ихтиёрӣ системаи (1) - ро ба намуди интегралӣ меорем [3]:

$$\begin{cases} x(t) = e^{A(t-t_0)} x_0 + \varepsilon \int_{t_0}^t e^{A(t-s)} [F_1(s, x(s), y(s)) + E_1(s, x(s), y(s))] ds, \\ y(t) = e^{B(t-t_0)} y_0 + \varepsilon \int_{t_0}^t e^{B(t-s)} [F_2(s, x(s), y(s)) + E_2(s, x(s), y(s))] ds. \end{cases} \quad (5)$$

Барои ҳалли системаи (5) усули тақрибҳои пайдарпайро истифода мекунем ва тақрибҳои ибтидоиро интихоб мекунем:

$$x^{(0)}(t) = e^{A(t-t_0)} x_0$$

ва

$$y^{(0)}(t) = e^{B(t-t_0)} y_0.$$

Барои ҳисоб намудани тақрибии k ($k = 0, 1, 2, \dots$) - ум узви боқимондаи пайдарпайиро бо формулаҳои зерин ҳисоб мекунем:

$$x^{(k+1)}(t) \approx e^{A(t-t_0)}x_0 + \varepsilon \int_{t_0}^t e^{A(t-s)}[F_1(s, x^{(k+1)}, y^{(k+1)}) + E_1(s, x^{(k+1)}, y^{(k+1)})]ds \quad (6)$$

ва

$$y^{(k+1)}(t) \approx e^{B(t-t_0)}y_0 + \varepsilon \int_{t_0}^t e^{B(t-s)}[F_2(s, x^{(k+1)}, y^{(k+1)}) + E_2(s, x^{(k+1)}, y^{(k+1)})]ds. \quad (6a)$$

Мувофиқи шарты Липшицс нобаробарии зеринро ҳосил мекунем:

$$\|x^{(k+1)} - x^{(k)}\| \leq \varepsilon \int_{t_0}^t e^{A\|t-s\|}[(L_1 + M_1)(\|x^{(k)} - x^{(k-1)}\| + \|y^{(k)} - y^{(k-1)}\|)]ds.$$

Агар шарты $\|e^{A(t)}\| \leq M_A$ иҷро гардад, аз нобаробарии охири ҳосил мекунем [3-4]:

$$\|x^{(k+1)} - x^{(k)}\| \leq \varepsilon M_A (L_1 + M_1) \int_{t_0}^t e^{A\|t-s\|}[\|x^{(k)} - x^{(k-1)}\| + \|y^{(k)} - y^{(k-1)}\|]ds.$$

Ба ҳамин монанд, нисбат ба тағйирёбандаи $y(t)$ низ шарты Липшицсро истифода намуда, ҳосил мекунем:

$$\|y^{(k+1)} - y^{(k)}\| \leq \varepsilon M_B (L_2 + M_2) \int_{t_0}^t e^{B\|t-s\|}[\|x^{(k)} - x^{(k-1)}\| + \|y^{(k)} - y^{(k-1)}\|]ds.$$

Агар бузургии мазкурро бо адади

$$K = \max\{M_A(L_1 + M_1), M_B(L_2 + M_2)\}$$

ифода кунем, он гоҳ аз нобаробариҳои охири ҳосил мекунем:

$$\|z^{(k+1)} - z^{(k)}\| \leq \varepsilon K \int_{t_0}^t \|z^{(k)} - z^{(k-1)}\|ds,$$

ки дар ин ҷо $z = (x, y)$ аст [2-5]. Барои сохтани проекторҳои ғайрихаттӣ теоремаи зеринро бе исбот дохил мекунем.

Теорема. Бигзор, вектор - функсияҳои $F_j(t, x, y)$ ва $E_j(t, x, y)$ ($j = 1, 2$) дар соҳаи D муайян буда, нисбат ба t бефосила бошанд ва дар атрофи нуқтаи $(0, 0)$ нисбат ба тағйирёбандаҳои x ва y шарты Липшицсро қонеъ гардонанд. Агар спектри қисми хаттии системаи (1) ба ду қисм - устувор (дар нимҳамвории чап ҷойгир аст) ва ноустувор (дар нимҳамвории рост ҷойгир мебошад) ҷудо шавад, он гоҳ дар атрофи нуқтаи $(0, 0)$ проекторҳои ғайрихаттӣ мавҷуд мебошанд, ки фазои ҳолати системаи (1) - ро ба зерфазоҳои инвариантии устувор ва ноустувор ҷудо мекунанд.

Акнун проекторҳои ғайрихаттиро месозем.

Бигзор, спектри матритсаҳои қисми хаттии системаи (3) ба ду қисм - спектри устувор (зерфазои x устувор) ва спектри ноустувор B (зерфазои y ноустувор) ҷудо карда шавад [6-7]:

$$\sigma(A) \subset \{\lambda : \operatorname{Re} \lambda < -\alpha\}$$

ва

$$\sigma(B) \subset \{\mu : \operatorname{Re} \mu > \beta\},$$

ки дар ин ҷо $\alpha > 0$ ва $\beta > 0$ мебошанд. Дар ин ҳолат проекторҳои хаттиро чунин муайян мекунем:

$$P(x, y) = \begin{pmatrix} x \\ 0 \end{pmatrix} \text{ ва } Q(x, y) = \begin{pmatrix} 0 \\ y \end{pmatrix},$$

ки шартҳои зеринро қонеъ мекунанд:

$$QP = PQ = 0, P^2 = PP = P, Q^2 = QQ = Q. \quad (***)$$

Азбаски қисми ғайрихаттии тарафи рости системаи (1) ҳамзарбҳои εF_j ва εE_j ($j=1,2$) - ро дарбар мегирад, он гоҳ зерфазоҳои хаттӣ мувофиқ инвариантӣ намебошанд. Аз ин лиҳоз проекторҳои ғайрихаттиро барои системаи (1) дар шакли зерин ҷустуҷӯ мекунем [1-8]:

$$P_\varepsilon(z) = Pz + \varepsilon\Phi(z), \Phi: R^{m+n} \rightarrow R^{m+n}$$

ва

$$Q_\varepsilon(z) = Qz + \varepsilon\psi(z),$$

ки дар ин ҷо $\Phi(z)$ ва $\psi(z)$ - функсияҳои номаълум, $z = (x, y) \in R^{m+n}$ ва P, Q - проекторҳои хаттӣ буда, шартҳои баробарии (***) - ро қонеъ мекунанд. Барои ёфтани функсияи $\Phi(z)$ амалиётҳои зеринро иҷро мекунем:

а) мувофиқи шарт $P_\varepsilon^2 = P_\varepsilon$ ё $P_\varepsilon(P_\varepsilon(z)) = P_\varepsilon(z)$ ҳосил мекунем:

$$P_\varepsilon(P_\varepsilon(z)) = P_\varepsilon(Pz + \varepsilon\Phi(z)). \quad (7)$$

Бори дигар, мувофиқи таърифи проектори хаттӣ, ҳосил мекунем:

$$P_\varepsilon(u) = Pu + \varepsilon\Phi(u). \quad (8)$$

Тавассути гузориши $u = Pz + \varepsilon\Phi(z)$ ва ба назардошти баробарии (7), баробарии (8) намуди зеринро мегирад:

$$P_\varepsilon(P_\varepsilon(z)) = P(Pz + \varepsilon\Phi(z)) + \varepsilon\Phi(Pz + \varepsilon\Phi(z));$$

б) азбаски $P^2 = PP = P$ мебошад, пас ҳосил мекунем:

$$P(Pz + \varepsilon\Phi(z)) = PPz + \varepsilon P\Phi(z) = Pz + \varepsilon P\Phi(z);$$

в) азбаски $\Phi(z)$ - функсияи дар нуқтаи Pz дифференсиронидашаванда мебошад, мувофиқи формулаи Тейлор ҳосил мекунем [5-8]:

$$\Phi(Pz + \varepsilon\Phi(z)) = \Phi(Pz) + \varepsilon D\Phi(Pz)\Phi(z) + O(\varepsilon\Phi(z))^2$$

ё

$$\Phi(Pz + \varepsilon\Phi(z)) = \Phi(Pz) + D\Phi(Pz)(\varepsilon\Phi(z)) + O(\varepsilon)^2. \quad (9)$$

Азбаски ҳосилаи $D\Phi(Pz)$ - оператори хаттӣ мебошад, пас онро ба намуди зерин ифода мекунем:

$$D\Phi(Pz)(\varepsilon\Phi(z)) = \varepsilon D\Phi(Pz)\Phi(z).$$

Ҳар ду тарафи баробарии (9) - ро ба ε зарб мекунем:

$$\varepsilon\Phi(Pz + \varepsilon\Phi(z)) = \varepsilon\Phi(Pz) + D\Phi(Pz)(\varepsilon^2\Phi(z)) + O(\varepsilon)^3; \quad (10)$$

г) ҳамин тариқ, дар баробарии (10) коэффитсиентҳои назди ε - ро бо ҳам баробар намуда, функсияи номаълуми $\Phi(z)$ - ро меёбем:

$$\Phi(z) = P\Phi(z) + \Phi(Pz). \quad (11)$$

Ба ҳамин монанд, барои муайян намудани функсияи

$$Q_\varepsilon(z) = Qz + \varepsilon\psi(z) \quad (12)$$

ва ба назардошти шарт $Q_\varepsilon^2 = Q_\varepsilon$ ҳосил мекунем:

$$\psi(z) = Q\psi(z) + \psi(Qz).$$

Аз ҳалли тақрибии (7) меёбем:

$$z(t) = z_0(t) + \varepsilon z_1(t) + O(\varepsilon^2),$$

ки дар ин ҷо

$$z(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix}, z_0(t) = \begin{pmatrix} x_0(t) \\ y_0(t) \end{pmatrix}$$

аст. Бо назардошти баробарии (7) ва шарт (11), проектори $P_\varepsilon(z)$ - ро ҳосил мекунем [1-8-9]:

$$P_\varepsilon(z) = P_\varepsilon(x, y) = P \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \varepsilon \begin{pmatrix} F_1(t, x, y) + E_1(t, x, y) \\ F_2(t, x, y) + E_2(t, x, y) \end{pmatrix} + O(\varepsilon)^2. \quad (13)$$

Айнан ҳамин тавр, барои проектори $Q_\varepsilon(z)$ ҳосил мекунем:

$$Q_\varepsilon(z) = Q_\varepsilon(x, y) = (I - P) \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - \varepsilon \begin{pmatrix} F_1(t, x, y) + E_1(t, x, y) \\ F_2(t, x, y) + E_2(t, x, y) \end{pmatrix} + O(\varepsilon)^2. \quad (14)$$

Мисол. Системаи муодилаҳои дифференсиалии ғайрихаттии

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = 2x + \varepsilon(x^2 + xy) + \varepsilon \sin t, \\ \frac{dy}{dt} = -3y + \varepsilon(y^2 + xy) + \varepsilon \cos t \end{cases}$$

бо шартҳои аввалии $x(0) = x_0$ ва $y(0) = y_0$ дода шудааст. Системаро ҳал намуда, проекторҳои ғайрихаттии онро месозем.

Ҳал. Дар системаи мазкур параметри $\varepsilon = 0$ - ро қабул мекунем. Он гоҳ системаи зеринро ҳосил мекунем:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = 2x, \\ \frac{dy}{dt} = -3y, \end{cases}$$

аз ин ҷо меёбем:

$$\begin{cases} x(t) = Ce^{2t}, \\ y(t) = Ce^{-3t}. \end{cases}$$

Бо назардошти шартҳои аввала ҳосил мекунем:

$$\begin{cases} x(t) = x_0 e^{2(t-t_0)}, \\ y(t) = y_0 e^{-3(t-t_0)}. \end{cases}$$

Бо истифода аз усули вариатсияи доимӣҳои ихтиёрӣ, системаи мазкурро ба системаи муодилаҳои интегралӣ табдил медиҳем:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x_0 e^{2t} + \varepsilon \int_{t_0}^t e^{2(t-s)} (x(s)^2 + x(s)y(s) + \sin s) ds, \\ \frac{dy}{dt} = y_0 e^{-3t} + \varepsilon \int_{t_0}^t e^{-3(t-s)} (y(s)^2 + x(s)y(s) + \cos s) ds. \end{cases}$$

Бо ҷойгузориҳои ҳалли қисми хаттии система ба системаи интегралӣ, ҳалли тақрибии системаи ғайрихаттиро ҳосил мекунем:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x_0 e^{2t} + \varepsilon \int_{t_0}^t e^{2(t-s)} (x_0^2 e^{4s} + x_0 y_0 e^{-s} + \sin s) ds, \\ \frac{dy}{dt} = y_0 e^{-3t} + \varepsilon \int_{t_0}^t e^{-3(t-s)} (y_0^2 e^{-6s} + x_0 y_0 e^{-s} + \cos s) ds. \end{cases}$$

Акнун проекторҳои ғайрихаттиро дар шакли зерин ифода мекунем:

$$\dot{z} = Az + \varepsilon F(t, z),$$

ки дар ин ҷо

$$z = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & -3 \end{pmatrix}, F(x, y) = \begin{pmatrix} x^2 + xy + \varepsilon \sin t \\ y^2 + xy + \varepsilon \cos t \end{pmatrix}.$$

Қиматҳои хоси матритсаи A - ро меёбем:

$$\text{Det}(F = \lambda E) = \begin{vmatrix} 2 - \lambda & 0 \\ 0 & -3 - \lambda \end{vmatrix} = 0,$$

аз ин ҷо $\lambda_1 = 2 > 0$ ноустувор ва $\lambda_2 = -3 < 0$ устувор мебошанд. Дар ин ҳолат проекторҳои ғайрихаттӣ аз ду қисм иборат мебошанд:

а) қисми ноустувор

$$(P_u z)(t) = e^{2(t-t_0)} \eta + \varepsilon \int_{t_0}^t e^{2(t-s)} (x(s)^2 + x(s)y(s) + \sin s) ds;$$

б) қисми устувор

$$(P_s z)(t) = -\varepsilon \int_t^{+\infty} e^{-3(t-s)} (y(s)^2 + x(s)y(s) + \cos s) ds.$$

Дар натиҷа, проекторҳои ғайрихаттӣ устувор ва ноустувор мутаносибан намуди зеринро мегиранд:

$$(Pz)(t) = \begin{pmatrix} e^{2(t-t_0)} \eta + \varepsilon \int_{t_0}^t e^{2(t-s)} (x(s)^2 + x(s)y(s) + \sin s) ds \\ -\varepsilon \int_t^{+\infty} e^{-3(t-s)} (y(s)^2 + x(s)y(s) + \cos s) ds \end{pmatrix}.$$

Қайд. Барои муайян кардани функсияҳои $\Phi(z)$ ва $\Psi(z)$ онҳоро дар шакли қаторҳои зерин ҷустуҷӯ мекунем:

$$\Phi(z) = \Phi_2(z) + \Phi_3(z) + \Phi_7(z) + \dots$$

ва

$$\Psi(z) = \Psi_2(z) + \Psi_3(z) + \Psi_7(z) + \dots$$

Қаторҳои мазкурро ба баробариҳои (11) ва (12) ҷойгузорӣ намуда, коэффитсиентҳои назди аъзои дараҷаи дуюм, сеюм ва дараҷаҳои минбаъдaro муқоиса мекунем. Дар натиҷа, қимати функсияҳои Φ_2, Ψ_2 , сипас Φ_3, Ψ_3 ва ғайраро муайян месозем [8-10].

Муҳокима (Discussion)

Натиҷаҳои тадқиқот самаранокии усули пешниҳодшударо барои сохтани проекторҳои ғайрихаттӣ ва омӯзиши сохтори динамикии системаи муодилаҳои дифференсиалии ғайрихаттӣ нишон медиҳанд. Асоси усул ба ҷудокунии спектрии қисми хаттӣ система ва ба ҳисоб гирифтани таъсири узви ғайрихаттӣ тавассути функсияҳои ислоҳ-кунанда асос меёбад. Натиҷаи асосии теоремаи пешниҳодшуда дар он ифода меёбад, ки ҳангоми ҷудошавии спектри қисми хаттӣ система ба қисмҳои устувор ва ноустувор ва иҷро шудани шarti Липшиц, дар атрофи нуқтаи мувозинат проекторҳои ғайрихаттӣ мавҷуд мебошанд. Ин проекторҳо фазои ҳолати системаро ба

зерфазоҳои инвариантии устувор ва ноустувор чудо намуда, таъсири қисми ғайрихаттиро ба сохтори геометрии система инъикос мекунад.

Мисоли мушаххаси баррасишуда татбиқи амалии натиҷаи назариявиро тасдиқ менамояд. Таҳлили қиматҳои хоси қисми хаттии система имконият медиҳад, ки самтҳои устувор ва ноустувор муайян карда шаванд. Бо илова намудани функсияҳои ислохунандаи ғайрихаттӣ проекторҳои хаттӣ ба проекторҳои ғайрихаттӣ табдил дода мешаванд, ки сохтори воқеии фазои ҳолати системаи мазкурро дақиқтар тавсиф мекунад.

Хулоса (Conclusions)

Дар мақола тарзи сохтани проекторҳои ғайрихаттӣ барои системаи муодилаҳои дифференсиалии ғайрихаттии тарафи росташон аналитикӣ бо истифодаи шартҳои аввала тадқиқ шудааст. Натиҷаҳои бадастомада метавонанд барои омӯзиши устуворӣ ва хусусиятҳои динамикии системаи муодилаҳои дифференсиалӣ бо аргументҳои таъхирӣ, системаи муодилаҳои дифференсиалии вобаста аз параметри хурд, системаи муодилаҳои дифференсиалии идорашаванда ва системаи муодилаҳои дифференсиалию фарқӣ тадқиқ карда шаванд.

Муқарриз: Шарипов Ё. – д.и.ф.-м., профессори кафедраи математикаи олии Донишгоҳи давлатии молия ва иқтисоди Тоҷикистон.

Литература

1. Валеев К.Г., Жаутыков О.А. Бесконечные системы дифференциальных уравнений : учебник / К.Г. Валеев, О.А. Жаутыков. – Алма-Ата: Наука, 1974. – 416 с.
2. Садриддинов М.М., Рустамбекова У.Р. Построение нелинейных проекторов для систем дифференциальных уравнений, содержащих малый параметр / М.М. Садриддинов, У.Р. Рустамбекова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 3(59). – С. 5–11. – ISBN 978-99985-900-4-2.
3. Aulbach B., Wanner T. Integral manifolds for Carathéodory type differential equations in Banach spaces // B. Aulbach, T. Wanner. Six Lectures on Dynamical Systems. – Singapore: World Scientific, 1996. – P. 45–119.
4. Далецкий Ю.Л., Крейн М.Г. Устойчивость решений дифференциальных уравнений в банаховом пространстве / Ю.Л. Далецкий, М.Г. Крейн. – М.: Наука, 1970. – 535 с.
5. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения / А.М. Ляпунов. – М.–Л.: Гостехиздат, 1950. – 472 с.
6. Массера Х., Шеффер Х.Х. Линейные дифференциальные уравнения и функциональные пространства / Х. Массера, Х.Х. Шеффер. – М.: Мир, 1970. – 476 с.
7. Понтрягин Л.С. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Л.С. Понтрягин. – М.: Наука, 1982. – 321 с.
8. Khatskevich V., Shoikhet D. Differentiable Operators and Nonlinear Equations / V. Khatskevich, D. Shoikhet. – Basel: Birkhäuser, 1994. – 284 p.
9. Хартман Ф. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Ф. Хартман. – М.: Мир, 1970. – 720 с.
10. Лыкова О.Б. О существовании и поведении интегральных многообразий для систем нелинейных дифференциальных уравнений, содержащих малый параметр / О.Б. Лыкова. : автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Киев: Институт математики АН УССР, 1957.

Reference

1. Valeev K.G., Zhautykov O.A. Infinite Systems of Differential Equations: Textbook / K.G. Valeev, O.A. Zhautykov. – Alma-Ata: Nauka, 1974. – 416 p.
2. Sadriddinov M.M., Rustambekova U.R. Construction of Nonlinear Projectors for Systems of Differential Equations Containing a Small Parameter / M.M. Sadriddinov, U.R. Rustambekova // Polytechnic Bulletin. Series: Intelligence. Innovations. Investments. – 2022. – No. 3(59). – P. 5–11. – ISBN 978-99985-900-4-2.
3. Aulbach B., Wanner T. Integral manifolds for Carathéodory type differential equations in Banach spaces // B. Aulbach, T. Wanner. Six Lectures on Dynamical Systems. – Singapore: World Scientific, 1996. – P. 45–119.
4. Daletskii Yu.L., Krein M.G. Stability of Solutions of Differential Equations in Banach Space / Yu.L. Daletskii, M.G. Krein. – Moscow: Nauka, 1970. – 535 p.
5. Lyapunov A.M. The General Problem of the Stability of Motion / A.M. Lyapunov. – Moscow–Leningrad: Gostekhizdat, 1950. – 472 p.

6. Massera J.L., Schäffer J.J. Linear Differential Equations and Functional Spaces / J.L. Massera, J.J. Schäffer. – Moscow: Mir, 1970. – 476 p.
7. Pontryagin L.S. Ordinary Differential Equations / L.S. Pontryagin. – Moscow: Nauka, 1982. – 321 p.
8. Khatskevich V., Shoikhet D. Differentiable Operators and Nonlinear Equations / V. Khatskevich, D. Shoikhet. – Basel: Birkhäuser, 1994. – 284 p.
9. Hartman P. Ordinary Differential Equations / P. Hartman. – Moscow: Mir, 1970. – 720 p.
10. Lykova O.B. On the Existence and Behavior of Integral Manifolds for Systems of Nonlinear Differential Equations Containing a Small Parameter / O.B. Lykova: Abstract of the Candidate of Physical and Mathematical Sciences Dissertation. – Kyiv: Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1957.

Маълумот оид ба муаллиф:

Садриддинов Махмади Махмудович, дотсенти кафедраи математикаи олии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0344-8524>. E-mail: mahmadi72@gmail.ru

Сведения об авторе:

Садриддинов Махмади Махмудович, доцент кафедры высшей математики Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0344-8524>. E-mail: mahmadi72@gmail.ru

Information about the author:

Sadriddinov Makhmadi Makhmudovich, associate professor of the department of higher mathematics of the Tajik technical University named after academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0344-8524>. E-mail: mahmadi72@gmail.ru

ШАРТҲОИ КАНОРӢ БАРОИ МУОДИЛАИ ИНТЕГРАЛИИ ЯКЧЕНАКАИ МОДЕЛӢ

С.Б. Зарипов

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

Дар таҳқиқоти мазкур омӯзиши муодилаи интегралӣ якченакаи моделӣ мавриди баррасӣ қарор гирифтааст, ки дар он нуқтаи сарҳадӣ чап ба соҳаи интегралгирӣ дохил мешавад. Муодилаи мавриди назар ду нуқтаи канорӣ дошта, омӯзиши он дар заминаи назарияи муодилаҳои интегралӣ дифференсиалӣ сурат гирифтааст. Барои исботи мавҷудият ва наздиқшавии тасвирҳои интегралӣ истифодаи шартҳои асимптотикӣ зарур шуморида шуд. Бояд зикр кард, ки ҳалли умумии ин муодилаи моделӣ дорои функсияи ихтиёрӣ мебошад. Дар ҳолате, ки ҳалли умумӣ аз собитҳои (константаҳои) ихтиёрӣ иборат аст, масъалаи канорӣ гузошта ва таҳқиқ шудааст. Илова бар ин, ҳолатҳое омӯхта шудаанд, ки дар онҳо муодилаи додашуда танҳо ҳалли ягона дорад. Қайд кардан ба маврид аст, ки муодилаи интегралӣ дар ҳолате, ки ҳалли ягона дорад гузориши шартҳои канори лозим нест, чунки ҳалли муодилаи додашуда доимӣҳои ихтиёро дар бар намегирад. Дар ҳолате, ки ҳалли муодила доимӣҳои ихтиёро дар бар мегирад, вобаста ба доимӣҳои ихтиёрӣ шартҳои канорӣ гузошта мешаванд. Дар интиҳо, дар асоси дастовардҳои илмӣ бадастомада, теоремаҳо ва хулосаҳои дахлдор пешниҳод гардидаанд.

Калидвожаҳо: муодилаи якченакаи моделӣ, нуқтаҳои дохилӣ ва сарҳадӣ, масъалаҳои канорӣ, рафторҳои асимптотикӣ, доимӣҳои додашуда.

ГРАНИЧНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ МОДЕЛЬНОГО ОДНОМЕРНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ

С.Б. Зарипов

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

В данном исследовании рассматривается модельное интегральное уравнение в одномерном случае. Рассматриваемое уравнение имеет две крайние точки, и его изучение проведено в контексте теории интегрально-дифференциальных уравнений. Для доказательства существования и сходимости интегральных представлений было сочтено необходимым использование асимптотических условий. Следует отметить, что общее решение данного модельного уравнения содержит произвольную функцию. В случае, когда общее решение состоит из произвольных констант, была поставлена и исследована крайняя задача. В работе используются общие методы теории интегральных и дифференциальных уравнений, метод решения интегрального уравнения Вольтерра и получения интегральных представлений. Кроме того, изучены условия, при которых данное уравнение имеет единственное решение. Стоит отметить, что если интегральное уравнение имеет единственное решение, то задание граничных условий не требуется, поскольку решение не содержит произвольных постоянных. На основе полученных интегральных представлений ставятся и исследуются различные крайние задачи. В тех случаях, когда решение включает произвольные постоянные, граничные условия накладываются с их учетом. В завершение, на основе полученных научных результатов, представлены соответствующие теоремы и выводы.

Ключевые слова: одномерное модельное уравнение, внутренние и граничные точки, крайние задачи, асимптотические поведения, заданные постоянные.

BOUNDARY PROBLEMS FOR A MODEL ONE-DIMENSIONAL INTEGRAL EQUATION S.B. Zaripov

Tajik technical university named after academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This research examines a model integral equation in the one-dimensional case. The equation under consideration possesses two boundary points, and its study was conducted within the framework of the theory of integro-differential equations. To prove the existence and convergence of integral representations, the application of asymptotic conditions was deemed necessary. It should be noted that the general solution of this model equation contains an arbitrary function. In cases where the general solution consists of arbitrary constants, a boundary value problem was formulated and investigated. Furthermore, the conditions under which the given equation possesses a unique solution were studied. It is worth noting that if the integral equation has a unique solution, it is not required to set the boundary conditions, because the solution does not contain arbitrary constants. In those cases when the solution includes arbitrary constants, the boundary conditions are applied accordingly. Finally, based on the obtained scientific results, relevant theorems and conclusions are presented.

Keywords: one-dimensional model integral, integral equation type Volterra, boundary problems, asymptotic conditions, arbitrary constants.

Муқаддима (Introduction)

Яке аз мушкилоти калидии математикаи имрӯза, ки дорои аҳамияти амалии фаровон аст, таҳлили муодилаҳои интегралӣ якченака ва дученакаи намуди Волтерра мебошад. Аз назарияи муодилаҳои чинси дуҷуми Волтерра бармеояд, ки дар сурати бефосила будани ядро ва ё дар фазои Гилберт қарор доштани он, муодила ҳалли ягона пайдо мекунад. Дар ин пажӯҳиш шароитҳое муайян карда шудаанд, ки ягонагии ҳалли ин гуна муодилаҳоро таъмин менамоянд. Агар тасвири ҳалҳо, функсияҳо ё доимӣҳои ихтиёро дар бар гиранд, зарур аст, ки бо истифода аз тасвирҳои

интегралӣ ва хусусиятҳои онҳо масъалаҳои канорӣ ба таври корректӣ (дуруст) тарҳрезӣ карда шаванд.

Мақсади мақола ин гузориш ва тадқиқи масъалаи канорӣ барои муодилаи интегралӣ якченакаи моделии намуди Волтерра бахшида шудааст.

Мавод ва усулҳои таҳқиқот (*Materials and methods*)

Ҳангоми омӯзиши ингуна масъалаҳои канорӣ усулҳои умумии назарияи муодилаҳои дифференсиалӣ ва интегралӣ истифода мешаванд. Инчунин методи ҳалли муодилаи интегралӣ Волтерра бо нуқтаи сингулярии қайдшудаи чап ва рост истифода мешаванд. Дар ҳолатҳое, ки тасвирҳои ҳалҳои муодилаҳои интегралӣ якченакаи ёфташудаи чунин намуди муодилаҳои интегралӣ доимӣҳои ихтиёрӣ ва функсияҳои ихтиёро дарбар мегиранд, аз тасвирҳои интегралӣ ҳосилшуда ва хосиятҳои он истифода бурда, ба таври амиқ гузоштани масъалаҳои канорӣ тадқиқ карда шудаанд.

Пеш аз ҳама қайд кардан ба маврид аст, ки барои гузориш ва тадқиқи масъалаҳои канорӣ вобаста ба муодилаи интегралӣ якченакаи моделӣ, аввалан ба тадқиқ ва омӯзиши муодилаи якченакаи моделӣ мепардозем.

Бо ёрии $\Gamma = \{x; a < x < b\}$, маҷмуи нуқтаҳоро ишорат мекунем. Дар маҷмуи Γ муодилаи интегралӣ моделии намуди зеринро дида мебароем:

$$\eta(x) + \int_a^x \frac{\Lambda(x,t)}{(t-a)(b-t)} \eta(t) dt = \varpi(x) \quad a < x < b, \quad (1)$$

дар баробарии (1), $\varpi(x)$ – функсияи додашуда дар $\bar{\Gamma}$, $\eta(x)$ – функсияи номаълум, $\Lambda(x,t)$ – функсияи додашуда дар соҳаи $D = \{(x,t); a < x < b, a < t < b\}$ мебошад, ғайр аз ин $\Lambda(a,a) \neq 0$.

Ҳалли муодилаи моделии (1) – ро дар синфи функсияҳои бефосила дар порчаи маҳдуди $\bar{\Gamma}$ ҷустуҷу мекунем, ки дар ҳоли $x = a$ будан, ба нол майл мекунад, бо шarti асимптотикии зерин:

$$\eta(x) = O[(x-a)^\varepsilon], \quad \varepsilon > 0, \quad x \rightarrow a. \quad (1.1)$$

Чи тавре, ки маълум аст, ҳангоми $x = b$ будан, ҳалли муодила ғайри маҳдуд мешавад ё ба нол майл мекунад.

Натиҷаҳо (*Results*)

$$\text{Ҳолати } A(a) < 0$$

Ба ҳамин тариқ, ҳалли муодилаи моделии (1) – ро ҳангоми $\Lambda(x,t) = A(t)$ будан, дида мебароем:

$$\eta(x) + \int_a^x \frac{A(t)}{(t-a)(b-t)} \eta(t) dt = \varpi(x), \quad a < x < b \quad (2)$$

ки дар ин ҷо $A(x)$, $\varpi(x)$ – функсияҳои додашуда, ба ғайр аз ин $A(a) \neq 0$.

Ҳалли муодилаи моделии интегралӣ (2) – ро дар синфи функсияҳое меҷуем, ки $\eta(x) \in C(\Gamma)$ ($a \leq x \leq b$), ҳангоми $x = a$ ба нол майл кунад, бо шarti асимптотикии (1.1) ва дар нуқтаи $x = b$ ғайри маҳдуд мешавад ё ба нол майл мекунад.

Масъалаи тадқиқ ва омӯзиши муодилаи интегралӣ моделии намуди (2), бо ду нуқтаи сарҳадии сингулярӣ ва суперсингулярӣ дар корҳои [1], [10] мавриди омӯзиш қарор дода шудааст.

Фарз мекунем, ки дар муодилаи моделии интегралӣ (2) $\varpi(x) \in C(\bar{\Gamma})$, ҳалли муодилаи (2) мавҷуд аст ва он дорои ҳосилаҳои бефосилаи тартиби як мебошад, ҳарду тарафи баробарии (2) – ро дифференсиронида, баъдан ба ифодаи $(x-a) \cdot (b-x)$ зарб мезанем, сипас мегузарем ба ҳалли муодилаи дифференсиалии одии тартиби яки таназулёбандаи намуди зерин:

$$D_{a,b}^x \eta(x) + A(x) \eta(x) - D_{a,b}^x \varpi(x) = 0, \quad (3)$$

дар ин ҷо $D_{a,b}^x = (x-a)(b-x) \frac{d}{dx}$.

Инак, ҳалли муодилаи (3) – ро дида мебароем:

$$(b-x) \cdot \frac{d\eta}{dx} + \frac{A(x)\eta(x)}{(x-a)} = 0,$$

ё ин ки

$$\frac{d\eta}{dx} + \frac{A(x)}{(b-x)(x-a)} \eta(x) = 0. \quad (4)$$

Баробарии охиронро дар намуди зерин наиштан мумкин аст:

$$\frac{d\eta}{dx} + \frac{A(x) - A(a)}{(x-a)(b-x)} \eta(x) = -\frac{A(a)}{(x-a)(b-x)} \eta(x) 0.$$

Ифодаи охирон ҳосилшударо бо ҳудуди аз $a + \varepsilon$ то x , интегронида, баробарии зеринро ҳосил мекунем:

$$\ln \eta(x) - \ln(\eta(a + \varepsilon)) + \int_{a+\varepsilon}^x \frac{A(t) - A(a)}{(t-a)(b-t)} dt + \frac{A(a)}{(b-a)} \ln\left(\frac{x-a}{b-x}\right) - \frac{A(a)}{(b-a)} \ln\left(\frac{\varepsilon}{b-a-\varepsilon}\right) = \ln \phi. \quad (5)$$

Бинобар ихтиёри будани $\eta(a + \varepsilon)$, онро чунон интиҳоб мекунем, ки баробарии зерин ҷой дошта бошад:

$$-\ln(\eta(a + \varepsilon)) - \frac{A(a)}{(b-a)} \ln\left(\frac{\varepsilon}{b-a-\varepsilon}\right) = 0.$$

Баробарии охиронро потенсиронида ҳосил мекунем:

$$\eta(a + \varepsilon) = \left(\frac{b-a-\varepsilon}{\varepsilon}\right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}}. \quad (6)$$

Ҳангоми иҷро шудани шарт (6), баробарии (5) намуди зеринро мегирад:

$$\ln \eta(x) + \int_{a+\varepsilon}^x \frac{A(t) - A(a)}{(t-a)(b-t)} dt + \frac{A(a)}{(b-a)} \ln\left(\frac{x-a}{b-x}\right) = \ln \phi.$$

Ҳангоми $\varepsilon \rightarrow 0$ ба ҳудуд гузашта, баъд аз табдилдиҳии элементарӣ баробарии зеринро ҳосил мекунем:

$$\eta(x) = \frac{\phi}{e^{W_A(x)} \left(\frac{x-a}{b-x}\right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}}},$$

дар ин ҷо

$$\eta(x) = e^{-W_A(x)} \left(\frac{b-x}{x-a}\right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \phi, \quad (7)$$

$$W_A(x) = \int_a^x \frac{A(t) - A(a)}{(t-a)(b-t)} dt,$$

ϕ - доимии ихтиёри мебошад.

Ҳамин тариқ, агар ҳалли муодилаи дифференсиалии намуди (4) мавҷуд бошад, пас онро ба намуди (7) ифода кардан мумкин аст. Вобаста ба усули тағйири доимиҳои ихтиёрӣ, ҳалли муодилаи дифференсиалии ғайриякҷинсаи (3) – ро дар намуди зерин меҷӯем:

$$\eta(x) = e^{-W_A(x)} \left(\frac{b-x}{x-a}\right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \phi(x), \quad (8)$$

ки дар ин ҷо $\phi(x)$ - функсияи номаълуми нав мебошад. Бо истифода аз усули муқарарӣ, барои ёфтани функсияи номаълуми $\phi(x)$ ҳосил мекунем.

$$\phi'(x)e^{-W_A(x)} = \varpi'(x) \left(\frac{x-a}{b-x} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}}.$$

Ифодаи охири ҳосилшударо интегронида ҳосил мекунем:

$$\phi(x) = \int_a^x \left(\frac{t-a}{b-t} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} e^{W_A(t)} \varpi'(t) dt + C_0,$$

дар ин ҷо C_0 – доимии ихтиёрӣ мебошад. Тарафи рости баробарии ҳосилшударо қисм ба қисм интегронида, талаб мекунем, ки функсияи $\varpi(x)$ ҳангоми $A(a) < 0$ дар нуқтаи $x = a$ ба нол майл кунад, бо шarti асимптотикии зерин:

$$\varpi(x) = o[(x-a)^{\delta_1}] \quad \delta_1 > \frac{|A(a)|}{b-a} \quad \text{ҳангоми } x \rightarrow a, \quad (9)$$

Ҳамин тавр, баробарии зеринро ҳосил мекунем:

$$\phi(x) = \left(\frac{x-a}{b-x} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} e^{W_A(x)} \varpi(x) - \int_a^x e^{W_A(t)} \left(\frac{t-a}{b-t} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \frac{A(t)f(t)}{(t-a)(b-t)} dt + C_0.$$

Қимати $\phi(x)$ - ро ба формулаи (8) гузошта, пас аз табдилдиҳиҳои элементарӣ, ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} \eta(x) &= e^{-W_A(x)} \left(\frac{b-x}{x-a} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} C_0 + \varpi(x) - \\ &- \int_a^x e^{W_A(t)-W_A(x)} \left[\left(\frac{t-a}{b-t} \right) \cdot \left(\frac{b-x}{x-a} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \frac{A(t)\varpi(t)}{(t-a)(b-t)} dt. \end{aligned} \quad (10)$$

Тасвири (10) бо фарзияи он ки ҳалли муодилаи интегралӣ моделии намуди (2) мавҷуд аст ва функсияҳои $\varpi(x)$, $\eta(x)$ дифференсиронидашаванда мебошанд, ба даст оварда шудааст.

Қайд кардан лозим аст, ки дар тарафи рости (10) интеграл мавҷуд аст, агар ҳангоми $A(a) < 0$ будан, функсияи $A(x)$ дар атрофи нуқтаи $x = a$ шarti Гёлдерро қаноат кунонад ва функсияи $f(x) \in C(\bar{\Gamma})$, $\varpi(a) = 0$ бо шarti асимптотикии (9).

Бе воситаи санҷидан мумкин аст, ки барои наздикшавии интегралҳо дар қисми рости (10), зарурати дифференсиронидашавандагии функсияи $\varpi(x)$ ҷой надорад. Пас, бо санҷиши бевосита ба осонӣ метавон бовари ҳосил кард, ки функсияи намуди

$$\eta_0(x) = e^{-W_A(x)} \left(\frac{b-x}{x-a} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \cdot \phi, \quad A(a) < 0,$$

ҳалли умумии муодилаи яқинсаи намуди (2) мебошад. Дар асоси [1], функсияи намуди

$$\eta_1(x) = \varpi(x) - \int_a^x e^{W_A(t)-W_A(x)} \left[\left(\frac{t-a}{b-t} \right) \left(\frac{b-x}{x-a} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \frac{A(t)\varpi(t)}{(t-a)(b-t)} dt, \quad (11)$$

ҳангоми $\varpi(x) \in C(\bar{\Gamma})$, $\varpi(a) = 0$ шавад, бо шarti асимптотикии (9) ва муодилаи ғайри яқинсаи намуди (2) - ро қаноат кунонад.

Қимати ёфташудаи функсияи $\eta_1(x)$ - ро аз ифодаи (11) ба баробарии намуди (2) гузошта, ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} \varpi(x) - \int_a^x e^{W_A(t)-W_A(x)} \left[\left(\frac{t-a}{b-t} \right) \left(\frac{b-x}{x-a} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \frac{A(t)\varpi(t)}{(t-a)(b-t)} dt + \\ + \int_a^x \frac{A(t)\varpi(t)}{(t-a)(b-t)} \left(\varpi(t) \int_a^t e^{W_A(\tau)-W_A(t)} \left[\left(\frac{\tau-a}{b-\tau} \right) \left(\frac{b-t}{t-a} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} - \right. \\ \left. - \int_a^t \frac{A(\tau)\varpi(\tau)}{(\tau-a)(b-\tau)} d\tau \right) dt = \varpi(x). \end{aligned}$$

Ҳар ду тарафи ифодаи охиронро ба функсияи $\varpi(x)$ ихтисор карда, ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} - \int_a^x e^{W_A(t)-W_A(x)} \left[\left(\frac{t-a}{b-t} \right) \left(\frac{b-x}{x-a} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \frac{A(t)\varpi(t)}{(t-a)(b-t)} dt + \\ + \int_a^x \frac{A(t)\varpi(t)}{(t-a)(b-t)} dt - \int_a^x \frac{A(\tau)\varpi(\tau)}{(\tau-a)(b-\tau)} * \\ * \int_a^t e^{W_A(\tau)-W_A(t)} \left[\left(\frac{\tau-a}{b-\tau} \right) \left(\frac{b-t}{t-a} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \frac{A(t)}{(t-a)(b-t)} dt = 0. \end{aligned}$$

Формулаи Дрихлеро истифода бурда, тартиби интегронириро дар интегралҳои дуюм иваз мекунем:

$$\begin{aligned} - \int_a^x e^{W_A(t)-W_A(x)} \left[\left(\frac{t-a}{b-t} \right) \left(\frac{b-x}{x-a} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \frac{A(t)\varpi(t)}{(t-a)(b-t)} dt \\ + \int_a^x \frac{A(t)\varpi(t)}{(b-t)(t-a)} dt - \int_a^x \frac{A(\tau)\varpi(\tau)}{(b-\tau)(\tau-a)} \int_a^t (e^{W_A(\tau)-W_A(t)} * \\ * \left[\left(\frac{\tau-a}{b-\tau} \right) \cdot \left(\frac{b-t}{t-a} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} d\tau) dt = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Интегралҳои ифодаи (12) – ро ҳисоб карда ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} \chi(x, \tau) = \int_a^x e^{W_A(\tau)-W_A(t)} \left[\left(\frac{\tau-a}{b-\tau} \right) \left(\frac{b-t}{t-a} \right) \right]^{\frac{(-A(a))}{(b-a)}} \frac{A(t)}{(b-t)(t-a)} dt = e^{W_A(\tau)} * \\ * \left[\left(\frac{\tau-a}{b-\tau} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \int_a^x e^{-W_A(t)} \left(\frac{b-t}{t-a} \right)^{\frac{(-A(a))}{(b-a)}} \frac{A(t)}{(t-a)(b-t)} dt. \end{aligned}$$

Қайд кардан ба маврид аст, ки пас аз каме табдилдиҳи ҳосил мекунем:

$$\frac{d}{dt} \left[e^{-W_A(t)} \left(\frac{b-t}{t-a} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \right] = -e^{-W_A(t)} \left(\frac{b-t}{t-a} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \frac{A(a)}{(b-t)(t-a)}.$$

Ҳосияти ҳосилшударо истифода карда, интегралҳои дохилиро дар намуди зерин ифода мекунем:

$$\begin{aligned} \chi(x, \tau) = e^{W_A(\tau)} \left[\left(\frac{\tau-a}{b-\tau} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \right] \int_a^x \frac{d}{dt} \left[e^{-W_A(t)} \left(\frac{b-t}{t-a} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \right] dt = -e^{W_A(\tau)} * \\ * \left[\left(\frac{\tau-a}{b-\tau} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \right] \left(e^{-W_A(t)} \left(\frac{b-t}{t-a} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \right) \Big|_a^x = -e^{W_A(\tau)} \left[\left(\frac{\tau-a}{b-\tau} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \right] * \\ * \left\{ e^{-W_A(x)} \left(\frac{x-a}{b-x} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} - e^{-W_A(\tau)} \left(\frac{\tau-a}{b-\tau} \right)^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \right\} = -e^{W_A(\tau)-W_A(x)} * \end{aligned}$$

$$* \left[1 + \left[\left(\frac{b-x}{x-a} \right) \left(\frac{\tau-a}{b-\tau} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \right].$$

Қимати ҳисобшудаи интегралҳои дохилиро ба баробарии (12) гузошта, ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} & - \int_a^x e^{W_A(t)-W_A(x)} \left[\left(\frac{b-x}{x-a} \right) \left(\frac{t-a}{b-t} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} \frac{A(t)\varpi(t)}{(t-a)(b-t)} dt + \int_a^x \frac{A(t)\varpi(t)}{(t-a)(b-t)} dt - \\ & - \int_a^t \frac{A(\tau)\varpi(\tau)}{(\tau-a)(b-\tau)} \left\{ -e^{W_A(\tau)+W_A(x)} \left[\left(\frac{b-x}{x-a} \right) \left(\frac{t-a}{b-t} \right) \right]^{\frac{A(a)}{(b-a)}} + 1 \right\} d\tau = 0. \end{aligned}$$

Чи тавре, ки маълум гашт айният ҳосил шуд, яъне дар ягон ҷо дифференсиронидашавандагии функсияи $\varpi(x)$ истифода нашудааст.

Ба ҳамин тариқ муҳокимаронии зерин ҷой дорад:

Теоремаи 1. Бигзор дар муодилаи якченакаи моделии (1), функсияи $A(x) \in C[a, b]$ ва дар нуқтаи сингулярии $x = a$ шarti Гёлдерро қаноат кунонад, $A(a) < 0$. Функсияи $\varpi(x)$ дар $\bar{\Gamma}$ бефосила бошад, инчунин дар нуқтаи $x = a$, ба нол майл кунад, бо шarti асимптотикии зерин:

$$\varpi(x) = o[(x-a)^\gamma], \quad \gamma > \frac{|A(a)|}{b-a}, \quad x \rightarrow a.$$

Онгоҳ дилхоҳ ҳалли муодилаи моделии интегралӣ (1)-ро аз синфи $C[a, b]$ ба намуди зерин тасвир кардан мумкин аст:

$$\begin{aligned} \eta(x) = \exp[W_A(x)] \cdot \xi \left(\frac{x-a}{b-x} \right)^{\frac{|A(a)|}{b-a}} + \varpi(x) - \int_a^t \left[\left(\frac{b-t}{t-a} \right) \cdot \left(\frac{x-a}{b-x} \right) \right]^{\frac{|A(a)|}{b-a}} \cdot \\ \cdot \frac{A(t)\varpi(t)}{(b-t)(t-a)} \exp[W_A(t) - W_A(x)] dt \equiv K_\alpha[\phi, \varpi(x)], \end{aligned} \quad (13)$$

дар ин ҷо ϕ – доимии ихтиёрӣ мебошад,

$$W_A(x) = \int_a^x \frac{A(t) - A(a)}{(t-a)(b-t)} dt.$$

Дар асоси тасвири интегралӣ ҳосилшуда масъалаҳои гуногуни канорӣ гузошта ва тадқиқ карда мешаванд:

Масъалаи Θ_1 . Талаб карда мешавад, ки бо истифода аз шarti канорӣ дар зер овардашуда, ҳалли муодилаи (1.2) аз синфи $C[a, b]$ ҳангоми $A(a) < 0$, ёфта шавад, яъне:

$$\left[(x-a)^{\frac{A(a)}{b-a}} \eta(x) \right]_{x=a} = E_K, \quad (\Theta_1)$$

ки E_K – доимии додашуда.

Ҳалли масъалаи Θ_1 . Бигзор функсияи $A(x)$, $\varpi(x)$ дар муодилаи моделии интегралӣ (1) шартҳои теоремаи 1. –ро қаноат кунонад. Бо истифода аз тасвири интегралӣ (1.13), ҳосияти (4) ва шarti (Θ_1) , ҳосил мекунем:

$$\phi_K = E_K(b-a)^{\frac{|A(a)|}{b-a}}.$$

Ифодаи ёфтшудаи ϕ_K –ро ба баробарии (13) гузошта, ҳалли масъалаи Θ_1 –ро меёбем, ки ба намуди зерин дода мешавад:

$$\eta(x) = K_\alpha \left[\varpi(x), E_K(b-a)^{\frac{|A(a)|}{b-a}} \right]. \quad (14)$$

Теоремаи 2. Бигзор функсияҳои дар (1) мавҷуд буда шартҳои шартҳои теоремаи 1.-ро қаноат кунанд. Он гоҳ масъалаи θ_1 дорои ҳалли ягона мебошад, ки бо ёрии формулаи (14) дода мешавад.

Масъалаи θ_2 Ҳалли муодилаи (14) – ро дар синфи $C[a, b]$ ҳолати $A(a) < 0$, муайян кунед, ки шартҳои зеринро қаноат мекунад:

$$\left[(b-x)^{\frac{|A(a)|}{b-a}} \eta(x) e^{W_A(x)} \right]_{x=b} = \Delta_2, \quad (\Delta_2)$$

дар ин ҷо Δ_2 - доимии додашуда аст.

Ҳалли масъалаи θ_2 . Ҳангоми иҷрошавии шартҳои теоремаи 1. ва бо истифодаи хосияти намуди

$\left[\eta(x) (x-a)^{\frac{A(a)}{b-a}} \right]_{x=a} = \phi_K(b-a)^{\frac{A(a)}{b-a}},$ ва шартҳои (Δ_2) баробарии зеринро ҳосил мекунем:

$$\left[e^{W_A(x)} \eta(x) (b-x)^{\frac{|A(a)|}{b-a}} \right]_{x=b} = (b-a)^{\frac{|A(a)|}{b-a}} * \\ * \left[\phi_K + (\varpi(x) \exp[W_A(x)])_{x=b} (b-a)^{\frac{|A(a)|}{b-a}} - \int_a^b \left(\frac{b-t}{t-a} \right)^{\frac{|A(a)|}{b-a}} \exp[W_A(t)] \frac{\varpi(t) A(t)}{(t-a)(b-t)} dt \right] = \Delta_2.$$

Аз ин ҷо ҳосил менамоем:

$$\phi_K = -(b-a)^{\frac{|A(a)|}{b-a}} (\varpi(x) \exp[W_A(x)])_{x=b} + \Delta_2 (b-a)^{\frac{A(a)}{b-a}} + \\ + \int_a^b \left(\frac{b-t}{t-a} \right)^{\frac{|A(a)|}{b-a}} \frac{A(t) f(t)}{(t-a)(b-t)} \exp[W_A(t)] dt \equiv T[\Delta_2, f(x)]. \quad (15)$$

Аз тасвири интегралҳои (15) натиҷа бар меояд, ки барои барои наздикшавии интеграл дар тарафи рости ифодаи намуди (15), ғайр аз иҷрошавии шартҳои теоремаи 1. зарур аст, ки $f(b)=0$ бо шартҳои асимптотикии зерин:

$$\varpi(x) = o[(b-x)^{\delta_1}] \quad \delta_1 > \frac{|A(a)|}{(b-a)}, \quad \text{ҳангоми } x \rightarrow b. \quad (16)$$

Қимати ёфташудаи ϕ_K – ро дар тасвири интегралҳои (13) гузошта, ҳалли масъалаи θ_2 – ро меёбем:

$$\eta(x) = K_a [T[\Delta_2, \varpi(x)], \varpi(x)], \quad (17)$$

дар ин ҷо $T[\Delta_2, \varpi(x)]$ операторҳои интегралӣ мебошанд.

Теорема 3. Фарз мекунем, ки функсияҳои дар муодилаи моделии интегралҳои (1) мавҷуд буда, ҳамаи шартҳои теоремаи 1. – ро қаноат кунанд. Ғайр аз ин, бигзор функсияи $f(x)$ дар нуқтаи $x = b$ ба сифр майл кунад бо рафтори асимптотикии (16). Инчунин функсияи $\varpi(x)$ чунин бошад, ки $(\varpi(x) \exp[W_A(x)])_{x=b}$ – мавҷуд бошад. Онгоҳ масъалаи θ_2 дорои ҳалли ягона мебошад ва бо ёрии формулаи (17) дода мешавад.

Қайди 1. Бо дар назардошти теоремаи 1 муҳокимаронии зерин бар меояд:

Теоремаи 4. Бигзор дар муодилаи моделии (2), $A(t) = \lambda = \text{const} < 0$, инчунин функсияи $f(x)$ дар порчаи $[a, b]$ бефосила бошад ва дар нуқтаи $x = a$ ба сифр майл кунад бо шартҳои талабкардашудаи зерин:

$$\varpi(x) = o[(b-x)^{\gamma_1}], \quad \gamma_1 > \frac{|\lambda|}{(b-a)} \quad \text{ҳангоми } x \rightarrow a.$$

Бо назардошти гуфтаҳои боло ҳалли муодилаи

$$\eta(x) + \lambda \int_a^x \frac{\eta(t)}{(t-a)(b-t)} dt = \varpi(x), \quad (18)$$

аз синфи функсияҳо бефосила дар намуди зерин тасвир мегардад:

$$\eta(x) = \phi \left(\frac{x-a}{b-x} \right)^{\frac{|\lambda|}{b-a}} + \varpi(x) - \lambda \int_a^x \frac{\varpi(t)}{(t-a)(b-t)} \left[\left(\frac{b-t}{t-a} \right) \cdot \left(\frac{x-a}{b-x} \right) \right]^{\frac{|\lambda|}{b-a}} dt = K_a^\lambda [\phi, \varpi(x)]$$

дар ин ҷо ξ - доимии ихтиёрист.

Дар ҳолате, ки $A(t) = \lambda > 0$ бошад, онгоҳ муҳокимаронии зерин ҷой дорад.

Теоремаи 5. Бигзор дар муодилаи моделии интегралӣ (18) $\lambda > 0$, ва функсияи $f(x)$ дар порчаи маҳдуди $[a, b]$ бефосила бошад ва дар нуқтаи $x = a$ ба нол майл кунад, бо шarti талабкардашудаи зерин:

$$f(x) = o[(x - a)^{\varepsilon}] \quad \varepsilon > 0 \quad \text{ҳангоми } x \rightarrow a.$$

Онгоҳ муодилаи моделии интегралӣ (18) дар синфи функсияҳои бефосилаи $\eta(x)$ дар ниминтервали $[a, b)$ бо ёрии баробарии зерин дода мешавад:

$$\eta(x) = \varpi(x) - \lambda \int_a^x \left[\left(\frac{t-a}{b-t} \right) \cdot \left(\frac{b-x}{x-a} \right) \right]^{\frac{\lambda}{(b-a)}} \frac{\varpi(t)}{(b-t)(t-a)} dt.$$

Муҳокима (Discussions)

Натиҷаҳои дар ин таҳқиқот бадастомада нишон медиҳанд, ки омӯзиши масъалаҳои канорӣ барои муодилаҳои интегралӣ моделии Вольтерра бо нуқтаҳои сингулярии қайдшуда (аз ҷаҳ ва рост) дорои хусусиятҳои хоси назариявӣ мебошад.

Муқоиса бо усулҳои муқаррарӣ: Усулҳои пешниҳодшуда имконият медиҳанд, ки мушкилоти пайдошуда ҳангоми таҳлили муодилаҳои сингуляро, ки бо роҳҳои муқаррарии назарияи Фредгольм ё Вольтерра ҳал намешаванд, ба таври самарабахш рафъ намоем.

Тасвири интегралӣ ҳалҳо: Ҳангоми мавҷудияти нуқтаҳои сингулярӣ, тасвири умумии ҳалҳо метавонад аз функсияҳои ихтиёрӣ ё доимӣҳои ихтиёрӣ вобастагӣ пайдо кунад. Ин ҳолат ба таври аниқ гузоштани шартҳои канориро тақозо менамояд, то гузориш ва дурустии масъала таъмин гардад.

Амиқии гузориши масъала: Истифодаи тасвирҳои интегралӣ ва хосиятҳои онҳо имкон дод, ки синфи функсияҳое, ки дар онҳо масъалаи канорӣ ҳалли ягона ва устувор дорад, дақиқ муайян карда шавад. Ин тасдиқ мекунад, ки шартҳои канорӣ гузошташуда табиати сингулярии ядро ё худудҳоро ба эътибор мегиранд.

Натиҷаҳои бадастомада метавонанд дар таҳқиқи муодилаҳои дифференциалӣ интегралӣ, ки дорои коэффитсиентҳои сингулярӣ, инчунин дар моделиронии математикии равандҳое, ки дар онҳо ҳодисаҳои сарҳадӣ ё таъсири фаврӣ (сингулярӣ) ҷой доранд, истифода шаванд.

Хулоса

Қайд кардан ба маврид аст, ки ҳалли умумии муодилаи моделии болозикргардида доимӣҳои ихтиёрӣ дар бар мегирад. Барои ёфтани ин доимӣҳои ихтиёрӣ шартҳои канорӣ гузошта шуда, доимӣҳои ихтиёрӣ дар муодилаи интегралӣ якченака иштироккунанда ба таври ошкор ёфта шудаанд. Масъалаи канорӣ гузошта ва таҳқиқ шудааст. Усулҳои дар боло омӯхташуда ва натиҷаҳои бадастовардари ба назар гирифта, қайд кардан лозим аст, ки барои дар оянда рушди назарияи муодилаҳои интегралӣ якченака, дученака ва бисёрченака бо нуқтаҳои сингулярӣ ва суперсингулярӣ, ғайр аз ин барои дигар масъалаҳои гуногуни тадбиқи истифода бурдан ба маврид аст.

Муқаррир: Бобоёров Ш.К. – н.и.ф.-м., дотсенти қабедраи математикаи олии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон.

Адабиёт

1. Раджабов Н. Интегральные уравнения типа Вольтерра с фиксированными граничными и внутренними сингулярными и сверх-сингулярными ядрами и их приложения / Н. Раджабов – Душанбе: Издательство «Деваштич», 2007, 221с.
2. Зарипов С.Б. Не модельное двухмерное симметричное интегральное уравнение вольтерровского типа с одной граничной и одной внутренней сверхсингулярной линией / С.Б. Зарипов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2016. – №1/2 (196). – С. 27-32.
3. Гахов Ф.Д. Краевые задачи. / Ф.Д. Гахов // Изд-во «Наука», М.: 1977, с. 640.
4. Раджабов Н., Зарипов С.Б. К теории одного класса двумерного интегрального уравнения типа Вольтерра с сверх-сингулярной линией симметричных относительно одной из переменных / Н.Раджабов, С.Б. Зарипов // Известия академии наук Республики Таджикистан, №1(178), - 2020г. - с. 37-43.
5. Раджабов Н., Раджабова Л.Н., Зарипов С.Б. Двухмерные симметричные интегральные уравнения типа вольтерра с сингулярными и сверх-сингулярными линиями / Н. Раджабов, Л.Н.

Раджабова, С.Б. Зарипов // Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing , 2019г.- с.112. ISBN 978-620-0-46924-3.

6. Зарипов С.Б. Не модельное двухмерное симметричное интегральное уравнение вольтерровского типа с одной граничной и одной внутренней сингулярной линией / Н. Раджабов, С.Б. Зарипов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2016. – №1/1(192). – С. 73-78.

7. Раджабов Н. Раджабова Л. Введение в теорию многомерных интегральных уравнений типа Вольтерра с фиксированными сингулярными и сверх - сингулярными ядрами и их приложения [Текст] / Н. Раджабов, Л.Раджабова // Germany; LAPLAMBERT Academic Publishing 2011, - 502p.

8. Раджабов Н., Зарипов С.Б. Об одном классе двумерного симметричного интегрального уравнения Вольтерровского типа с одной граничной и одной внутренней сингулярной линиями / Н. Раджабов, С.Б. Зарипов // Материалы Международной научно- теоритической конференции «Актуальные проблемы науки и техники в современном ВУЗЕ» 23-25 мая 2019г. г Стерлитамак, на базе Стерлитамакского филиала Баш ГУ. ст. 165-171.

9. Раджабов Н., Зарипов С.Б. Двухмерное симметричное интегральное уравнения Вольтерра с двумя сингулярными линиями / Н. Раджабов, С.Б. Зарипов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – №1/4 (168). – С. 3-8.

10. Раджабов. Н., Зарипов С.Б. Немодельные двумерные симметричные интегральные уравнения Вольтерровского типа с сингулярной линией в частных случаях / Н. Раджабов, С.Б. Зарипов //Материалы международной научной конференции «Дифференциальные уравнения и смешные проблемы». посвященной «110-летию основателя самарской математической школы профессора С.П. Пулькина и 90-летию профессора В.Ф. Волкодавова». - Самара. – 2017. - С. 83-85.

11. Зарипов С.Б. Краевые задач для двумерного интегрального уравнения с сверх - сингулярной линией, симметричное относительно переменного X / С.Б. Зарипов // Материалы Международной научно-практической конференции “ Эпистемологические основания современного образования: актуальные вопросы продвижения фундаментального знания в учебный процесс”. Воронежский государственный университет. Борисоглебск -2020г., с.358-361.

12. Раджабова Л.Н. Задача типа Коши с условиями на сингулярных многообразиях для одного класса немодельных интегральных уравнений типа Вольтерра с внутренними особыми линиями / Л.Н. Раджабова // Вестник Таджикского Национального Университет, серия естественных наук, Душанбе, «Сино», 2011, №8(72), - С. 11-20.

References

1. Rajabov N. Volterra-type integral equations with fixed boundary and interior singular and super-singular kernels and their applications / N. Rajabov - Dushanbe: Devashtich Publishing House, 2007, 221 p.

2. Zaripov S.B. Non-model two-dimensional symmetric integral equation of Volterra type with one boundary and one internal super singular line / S.B. Zaripov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. - 2016. - No. 1/2 (196). - P. 27-32.

3. Gakhov F.D. Boundary value problems. / F.D. Gakhov // Publishing house "Science", Moscow: 1977, p. 640.

4. Radjabov N., Zaripov S.B. On the theory of one class of two-dimensional integral equations of Volterra type with a super-singular line symmetric with respect to one of the variables / N. Radjabov, S.B. Zaripov // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, No. 1 (178), - 2020. - pp. 37-43.

5. Radjabov N., Radjabova L.N., Zaripov S.B. Two-dimensional symmetric integral equations of Volterra type with singular and super-singular lines / N. Radjabov, L.N. Radjabova, S.B. Zaripov // Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. - p. 112. ISBN 978-620-0-46924-3.

6. Zaripov S.B. Non-model two-dimensional symmetric integral equation of Volterra type with one boundary and one internal singular line / N. Radjabov, S.B. Zaripov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. - 2016. - No. 1/1 (192). - P. 73-78.

7. Rajabov N. Rajabova L. Introduction to the theory of multidimensional integral equations of Volterra type with fixed singular and super-singular kernels and their applications / N. Rajabov, L. Rajabova // Germany; LAPLAMBERT Academic Publishing 2011, - 502p.

8. Radjabov N., Zaripov S.B. On one class of two-dimensional symmetric integral equation of Volterra type with one boundary and one internal singular line / N. Radjabov, S.B. Zaripov // Proceedings of the International Scientific-Theoretical Conference "Current issues of science and technology in a modern university" May 23-25, 2019, Sterlitamak, based at the Sterlitamak branch of Bashkir State University. Art. 165-171.

9. Radjabov N., Zaripov S.B. Two-dimensional symmetric integral Volterra equation with two singular lines / N. Radjabov, S.B. Zaripov // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences. - 2015. - No. 1/4 (168). - P. 3-8.

10. Radjabov. N., Zaripov S.B. Non-model two-dimensional symmetric integral equations of Volterra type with a singular line in special cases / N. Radjabov, S.B. Zaripov // Proceedings of the international scientific

conference "Differential equations and funny problems". Dedicated to the "110th anniversary of the founder of the Samara mathematical school, Professor S.P. Pulkin, and the 90th anniversary of Professor V.F. Volkodavov." - Samara. - 2017. - Pp. 83-85.

11. Zaripov S.B. Boundary value problems for a two-dimensional integral equation with a super-singular line, symmetric with respect to the variable X / S.B. Zaripov // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Epistemological Foundations of Modern Education: Current Issues in Promoting Fundamental Knowledge in the Educational Process." Voronezh State University. Borisoglebsk, 2020, pp. 358-361.

12. Rajabova L.N. A Cauchy-type problem with conditions on singular manifolds for one class of non-model integral equations of Volterra type with internal singular lines / L.N. Rajabova // Bulletin of the Tajik National University, series of natural sciences, Dushanbe, "Sino", 2011, No. 8 (72), - P. 11-20.

Маълумот оид ба муаллиф:

Зарипов Сухроб Бобокулович, номзади илмҳои физика ва математика, дотсенти кафедраи математикаи олии, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: [https:// orcid.org/ 0000-0001-9119-0388](https://orcid.org/0000-0001-9119-0388). E-mail: zaripov_s89@mail.ru

Сведения об авторе:

Зарипов Сухроб Бобокулович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID: [https:// orcid.org/ 0000-0001-9119-0388](https://orcid.org/0000-0001-9119-0388). E-mail: zaripov_s89@mail.ru

Information about the author:

Zaripov Suhrob Bobokulovich, Candidate of Sciences of Physics and Mathematics, Associate Professor of the Higher Mathematics department, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: [https:// orcid.org/ 0000-0001-9119-0388](https://orcid.org/0000-0001-9119-0388). E-mail: zaripov_s89@mail.ru

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИАНТОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ И АССОЦИАЦИЙ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ГИССАРСКОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Х.Ф. Нурзода^{1,2}, М. Нарзиев¹, М.Н. Латипов¹

¹Институт астрофизики Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан

²Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В работе представлены результаты анализа радиолокационных наблюдений метеоров, выполненных в Гиссарской астрономической обсерватории в 1969–1970 гг. Методом пеленгационно-временной редукции определено более 6,5 тыс. индивидуальных орбит метеороидов, на основе которых исследованы их радиантные и орбитальные характеристики. Проведён анализ орбитальных характеристик зарегистрированных метеороидов с целью выявления и классификации групп метеорного вещества в околоземном пространстве. В результате идентифицировано 276 групп метеороидов, распределённых по обоим небесным полушариям. Среди них 86 групп отнесены к метеорным потокам, значительная часть которых представлена в базе данных Международного астрономического союза (МАС), что подтверждает достоверность проведённой идентификации. Наряду с известными метеорными потоками выявлены 85 ассоциации и 105 новых групп, которые могут представлять интерес для дальнейшего уточнения структуры и происхождения метеороидных комплексов. Анализ распределений эксцентриситетов, наклонов орбит и значений постоянной Тиссерана показал, что существенная часть исследованных метеороидов характеризуется кометоподобными орбитами. Полученные закономерности в целом согласуются с результатами оптических исследований метеорного вещества. Проведённый анализ позволил получить статистически обоснованную картину распределения метеороидных групп и подтвердил информативность радиолокационных наблюдений для выявления метеорных потоков и ассоциаций. Полученные результаты дополняют существующие сведения о метеорных потоках и указывают на необходимость дальнейшего исследования и независимого подтверждения природы выявленных новых групп.

Ключевые слова: радиолокационные наблюдения; метеорные потоки; метеорные ассоциации; радианты метеоров; элементы орбит; метеороиды.

ТАҲЛИЛИ ТАҚСИМОТИ РАДИАНТҲО ВА ЭЛЕМЕНТҲОИ МАДОРИ СЕЛҲО ВА АССОТСИАЦИЯҲОИ МЕТЕОРӢ ДАР АСОСИ МУШОҲИДАҲОИ РАДИОЛОКАТСИОНИИ РАСАДҲОНАИ АСТРОНОМИИ ҲИСОР

Х.Ф. Нурзода^{1,2}, М. Нарзиев¹, М.Н. Латипов¹

¹Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

²Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола натиҷаҳои таҳлили мушоҳидаҳои радиолокатсионии метеороҳ, ки солҳои 1969–1970 дар Расадхонаи астрономии Ҳисор гузаронида шудаанд, пешниҳод гардидаанд. Бо истифода аз усули редуксияи пеленгационӣ-вақтӣ зиёда аз 6,5 ҳазор мадори инфиродии метеороидҳо муайян карда шуда, дар асоси онҳо хусусиятҳои радиантӣ ва мадории онҳо таҳлил карда шудаанд. Хусусиятҳои мадории метеороидҳои ба қайд гирифташуда бо мақсади муайян ва тасниф намудани гурӯҳҳои моддаи метеорӣ дар фазои наздизаминӣ таҳлил карда шуданд. Дар натиҷа 276 гурӯҳи метеороидҳо, ки дар ҳар ду нимкураи осмонӣ тақсим шудаанд, муайян карда шуданд. Аз ҷумла, 86 гурӯҳ ба селҳои метеорӣ мансуб дониста шуданд, ки қисми назарраси онҳо дар пойгоҳи маълумоти Иттиҳоди байналмилалӣ астрономӣ (ИБА) мавҷуданд ва ин эътимоднокии натиҷаҳои ошкоршудаҳо тасдиқ мекунад. Дар баробари селҳои метеории маълум, 85 ассотсиатсия ва 105 гурӯҳи нав муайян карда шуданд, ки метавонанд барои таҳқиқоти минбаъдаи сохтор ва пайдоиши комплексҳои метеороидӣ аҳамият дошта бошанд. Таҳлили тақсими эксцентриситет, майлҳои мадорӣ ва қиматҳои параметри Тиссеран нишон дод, ки қисми назарраси метеороидҳои таҳқиқшуда дорои мадорҳои кометавӣ мебошанд. Қонуниятҳои ошкоршуда дар маҷмӯъ бо натиҷаҳои таҳқиқоти оптикӣ моддаи метеорӣ мувофиқат мекунад. Таҳлили гузаронидашуда имкон дод, ки тасвири аз ҷиҳати омӯри асосноки тақсими гурӯҳҳои метеороидӣ ба даст оварда шуда, самаранокии мушоҳидаҳои радиолокатсионӣ барои муайян намудани селҳо ва ассотсиатсияҳои метеорӣ тасдиқ карда шавад. Натиҷаҳои бадастомада маълумоти мавҷударо оид ба селҳои метеорӣ пурра намуда, зарурати таҳқиқоти минбаъда ва тасдиқи мустақилии табиати гурӯҳҳои нави муайяншудаҳо нишон медиҳанд.

Калидвожаҳо: мушоҳидаҳои радиолокатсионӣ, селҳои метеорӣ, ассотсиатсияҳои метеорӣ, радиантҳои метеороҳ, элементҳои мадор, метеороидҳо.

ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF RADIANTS AND ORBITAL ELEMENTS OF METEOR STREAMS AND ASSOCIATIONS BASED ON RADAR OBSERVATIONS OF THE HISAR ASTRONOMICAL OBSERVATORY

^{1,2}H.F. Nurzoda, ¹M. Narziev, ¹M.N. Latipov

¹Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

²Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan
This paper presents the results of radar observations of meteors conducted at the Hissar Astronomical Observatory

in 1969–1970. Using the bearing-time reduction method, more than 6,500 individual meteoroid orbits were determined, providing a basis for analyzing their radiant distribution and orbital characteristics. The orbital characteristics of the recorded meteoroids were analyzed to identify and classify groups of meteoric matter in near-Earth space. As a result, 276 meteoroid groups distributed across both celestial hemispheres were identified. Of these, 86 groups were classified as meteor showers, a significant proportion of which are listed in the International Astronomical Union (IAU) database, confirming the reliability of the identification results. In addition to known meteor showers, 85 associations and 105 new groups were identified, which may be of interest for further investigation of the structure and origin of meteoroid complexes. Analysis of the distributions of orbital eccentricities, inclinations, and Tisserand parameter values showed that a substantial proportion of the investigated meteoroids are characterized by comet-like orbits. The observed patterns are generally consistent with the results of optical studies of meteoric matter. The analysis provided a statistically substantiated picture of the distribution of meteoroid groups and confirmed the effectiveness of radar observations for identifying meteor showers and associations. The results supplement existing knowledge of meteor showers and indicate the need for further investigation and independent confirmation of the nature of the newly identified groups.

Keywords: radar observations, meteor streams, meteor associations, meteor radiants, orbital elements, meteoroids.

Введение (Introduction)

Метеорные потоки и ассоциации являются важными объектами современной метеорной астрономии, поскольку их исследование позволяет изучать структуру, происхождение и динамическую эволюцию малых тел Солнечной системы [1–3]. Особое значение имеет исследование пространственно-кинематических и орбитальных характеристик метеорных тел, позволяющее выявлять группы объектов с близкими динамическими параметрами и устанавливать их возможное генетическое связей [3].

Для определения радиантов и скоростей метеоров широко применяются оптические и радиолокационные методы наблюдений. Радиолокационный метод, получивший интенсивное развитие с 1950-х годов, позволяет регистрировать слабые метеорные тела, недоступные оптическим наблюдениям, и тем самым существенно расширяет статистическую базу исследований [4].

В настоящей работе исследуются радианты, геоцентрические скорости и орбитальные элементы метеорных тел. Совместный анализ этих характеристик позволяет выявлять метеорные потоки и ассоциации, исследовать их динамические свойства и оценивать возможное происхождение [5–9].

На основе радиолокационных наблюдений зимнего периода 1969–1970 гг. проанализированы более 6,5 тыс. индивидуальных метеорных орбит и идентифицированы 276 групп метеороидов. Особое внимание уделено пространственному распределению радиантов, эксцентриситетам, перигелийным расстояниям и наклонениям орбит, а также классификации выделенных групп по их динамическим характеристикам.

Материалы и методы (Materials and methods)

Использование радиолокационных методов наблюдений позволяет регистрировать слабые метеоры, недоступные для оптических методов, что существенно расширяет статистическую базу исследований [4]. Это особенно важно при исследовании компоненты с малой массой метеорного вещества, которая играет существенную роль в формировании и эволюции метеорных потоков и ассоциаций.

В работе исследуется распределение радиантов и орбитальных элементов метеорных тел, что соответствует современным методам исследования метеорных потоков [5, 6]. Комплексное рассмотрение этих характеристик позволяет установить не только индивидуальные особенности отдельных потоков, но и выявить общие закономерности их пространственного распределения и формирования.

Распределение радиантов метеорных потоков характеризуется выраженной неоднородностью по небесной сфере. Радианты преимущественно сосредоточены в отдельных областях, что может быть связано с особенностями орбит родительских тел, а также с динамическим воздействием гравитационных возмущений планет [2, 7]. Наличие групп метеорных потоков с близкими положениями радиантов может указывать на их динамическую связь или возможное общее происхождение. Подобные закономерности согласуются с представлениями о существовании метеорных комплексов и групп потоков, связанных общими источниками.

Результаты анализа показали, что метеорные частицы характеризуются достаточно широким диапазоном геоцентрических скоростей. При этом в

распределении скоростей прослеживаются отдельные области повышенной концентрации значений. Наблюдаемая неоднородность может быть обусловлена присутствием метеорного вещества, связанного с различными источниками и находящегося на орбитах с неодинаковыми динамическими характеристиками. В общем случае более высокие скорости чаще характерны для метеороидов, связанных с кометными источниками, тогда как частицы с меньшими скоростями могут быть связаны преимущественно с астероидным веществом [3, 8]. Поэтому скорость целесообразно рассматривать не изолированно, а совместно с другими параметрами орбиты.

Сопоставление больших полуосей, эксцентриситетов и наклонов орбит позволило выявить заметное разнообразие динамических характеристик исследуемых потоков. Для части потоков характерны орбиты с достаточно большими значениями эксцентриситета, что согласуется с возможной кометной природой соответствующего метеорного вещества [1, 9]. Наряду с ними выявлены потоки, орбиты которых отличаются меньшими эксцентриситетами. Такие особенности допускают их связь с астероидными источниками, хотя окончательное определение происхождения только по одному орбитальному параметру является недостаточным.

Для уточнения принадлежности метеорных групп проводилось совместное рассмотрение их радиантов, скоростей и орбитальных элементов. Близость этих характеристик позволяет объединять отдельные группы в более крупные динамические комплексы и выявлять возможные связи между ними [5]. Такой подход дает возможность перейти от анализа отдельных метеорных потоков к исследованию их взаимосвязей и возможного общего происхождения. Полученные результаты показывают, что одновременное использование радиантов, скоростей и орбитальных параметров является более информативным при исследовании структуры метеорного комплекса.

В исследовании проведён анализ данных по 276 метеорным потокам и ассоциациям. Методика и основные этапы их идентификации подробно представлены в работах [10–14]. Полученный массив данных представляет собой значительный статистический материал, позволяющий провести комплексное исследование радиантов, скоростей и орбитальных характеристик метеорного вещества. Результаты проведённого анализа имеют существенное научное значение для изучения структуры, динамики и возможного происхождения метеорных потоков, а также могут быть использованы при дальнейшем исследовании метеорных комплексов и ассоциаций. Они могут быть использованы при моделировании метеорных потоков, оценке метеорной опасности для космических аппаратов, а также при планировании наблюдательных программ [6]. Кроме того, полученные данные могут служить основой для дальнейших исследований динамики и эволюции метеорного вещества.

В настоящее время существуют два широко распространённых метода измерения радиантов и скоростей метеоров, которые позволяют рассчитывать орбитальные параметры индивидуальных метеорных тел. Это оптический и радиолокационный методы. С 50-х годов прошлого века радиолокационный метод получил значительное развитие, и в настоящее время его широко используют для измерения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров [15].

Что касается распределения метеорных тел в межпланетном пространстве, которые представляют опасность столкновения с Землёй и движутся по различным орбитам, их изучение является целесообразной целью. Наблюдения метеоров в атмосфере Земли свидетельствуют о том, что только те метеоры, чьи расстояния перигелия $q \leq 1$ а.е., афелия $Q \geq 1$ а.е., могут попасть в окрестности Земли [16].

Результаты (Results)

В результате редукции данных наблюдений с декабря 1969 по февралю 1970 г. пеленгационно-временным методом были измерены более 6.5 тысяч координат радиантов, скоростей и элементов орбит индивидуальных радиометеоров. Используя этот массив данных, нами идентифицированы 276 групп метеороидов, включенных в метеорные потоки и ассоциации.

При включении идентифицированных нами групп в список базы данных ЦМД МАС (ta3.sk/IAU), мы классифицируем их как метеорный поток. Если идентифицированная группа метеороидов отсутствует в списке базы данных МАС, мы классифицируем ее как ассоциацию или просто группу метеороидов. В результате оказалось, что среди 276 групп определены 86 метеорных потоков, 85 ассоциаций и 105 групп метеороидов. Среди установленных (86 потоков) метеорных потоков 22 потока входят в список подтвержденных в базе данных МАС, 60 потоков входят в рабочий список базы данных МАС и 1 поток в список кандидатов для подтверждения в базе данных МАС, а 3 поток в список, удалённый в базе данных МАС. Мы обнаружили 85 ассоциации, которые совпадают с результатами, полученными в работах [16-24]. Они отнесены к новым потокам, а оставшиеся 105 групп метеороидов являются новыми группами.

Распределение метеорных потоков и ассоциаций по небесной сфере, представленное на рисунке 1, демонстрирует, что большинство выявленных групп сосредоточено в северном полушарии. Вместе с тем, были обнаружены и несколько южных потоков и ассоциаций, что указывает на более широкое пространственное распределение метеорного вещества.

Анализ распределения метеороидных групп по склонению показал следующее:

- 190 групп имеют склонение в диапазоне от $+5^\circ$ до $+75^\circ$, что свидетельствует об их преобладании в северной небесной полусфере;
- 44 группы расположены вблизи небесного экватора и имеют склонение от -5° до $+5^\circ$, что соответствует экваториальной области небесной сферы;

Оставшиеся 42 группы имеют склонение в диапазоне от -35° до -5° , что соответствует южной небесной полусфере.

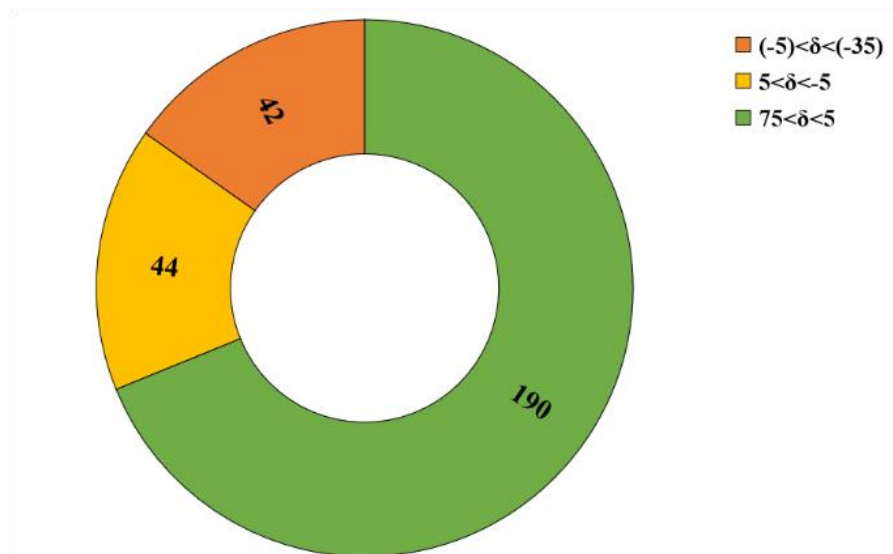


Рисунок 1 – Распределение метеорных потоков и ассоциаций по двум небесным полушариям и в районе экватора

Figure 1 – Distribution of meteor showers and associations across the two celestial hemispheres and the equatorial region

Такое распределение позволяет сделать вывод о характере пространственной активности метеорных потоков и ассоциаций, выявленных по результатам радиолокационных наблюдений. Преобладание северных потоков связано с географическим положением наблюдательной станции и особенностями орбитальных элементов родительских тел. Наличие южных потоков указывает на возможность изучения метеорного вещества в южной части небесной сферы и подтверждает важность дальнейших наблюдений для полного картирования метеорной активности.

Распределение метеорных потоков и ассоциаций, а также новых (неотождествлённых) групп метеороидов по прямому восхождению и склонению представлено на рисунке 2 а,б. Из гистограммы распределения по склонениям

следует, что радиокomплекс МИР-2 в отличие от данных, полученных в Харькове, Обнинске и Оттаве, способен регистрировать группы метеороидов (включая потоки и ассоциации) со склонениями более -30° .

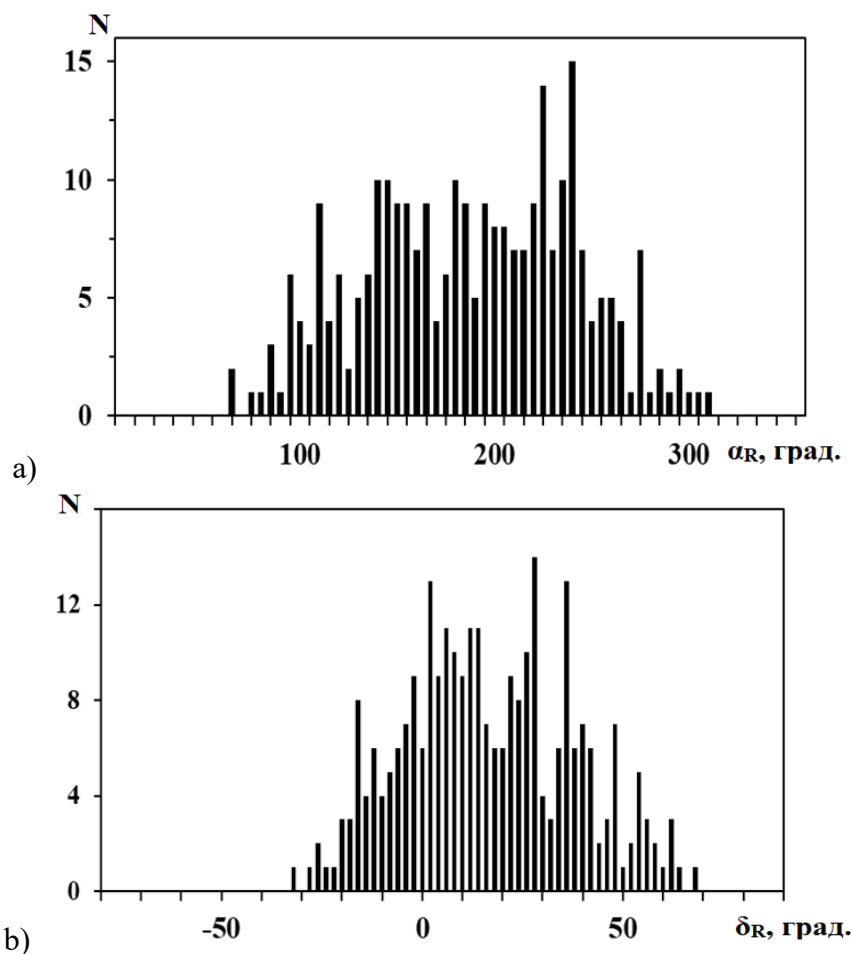


Рисунок 2 – Распределение групп метеороидов, включающихся метеорных потоков и ассоциаций по а) прямому восхождению и б) склонению в геоцентрической системе координат

Figure 2 – Distribution of meteoroid groups, including meteor showers and associations, as a function of a) right ascension and b) declination in the geocentric coordinate system

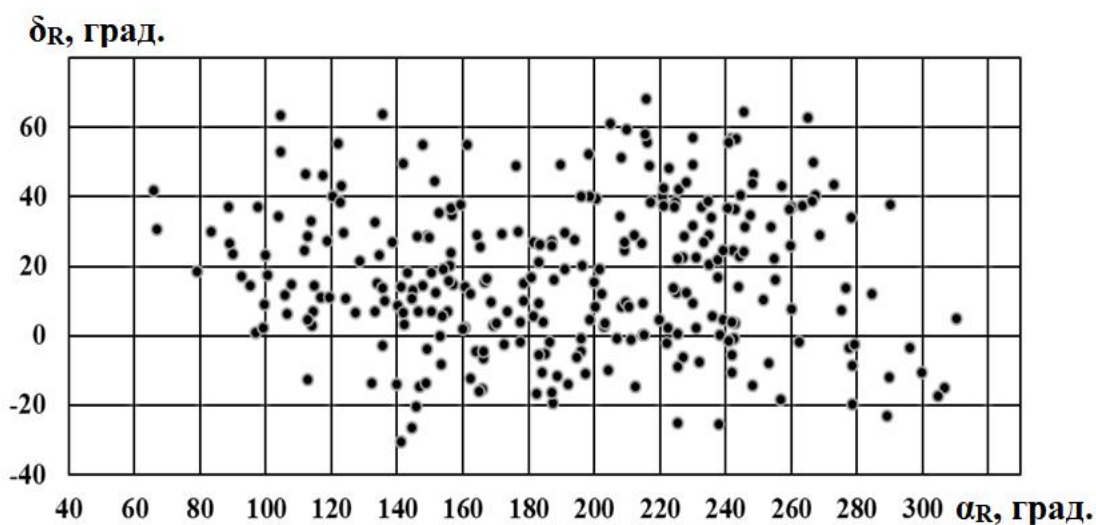


Рисунок 3 – Двухмерное распределение радиантов (по прямому восхождению и склонению) для 276 групп метеороидов

Figure 3 – Two-dimensional distribution of radiant (right ascension and declination) for 276 identified meteoroid groups

Двухмерное распределение радиантов по прямому восхождению и склонению показывает, что метеорные потоки и ассоциации, выявленные по результатам радионаблюдений в ГисАО за зимний сезон года, расположены по обоим небесным полушариям. Причем из рисунка 3 следует, что большинство групп метеороидов расположены в северном полушарии. Южные метеорные потоки и ассоциации имеют склонения более -30° .

Радиолокационные и оптические наблюдения метеоров ярче $+5m$ показывают близкие распределения эксцентриситетов орбит метеорных тел. Орбитальный эксцентриситет, характеризующий степень вытянутости орбиты, демонстрирует постепенное увеличение числа объектов в диапазоне значений от 0.2 до 0.8 (рисунок 4). При этом основная часть выявленных групп метеороидов (67%) имеет эксцентриситеты в интервале $0.8 \leq e < 1.0$, что свидетельствует о преобладающем вкладе кометных метеороидов, движущихся по сильно вытянутым эллиптическим орбитам. Наблюдаемое возрастание числа орбит с увеличением эксцентриситета в диапазоне $0.2 \leq e < 0.8$ может быть связано как с повышением вероятности пересечения орбиты Земли, так и с динамической эволюцией метеороидных частиц под воздействием планетных возмущений. Лишь около 0.008% полученных орбит являются гиперболическими ($e > 1$), что, вероятнее всего, обусловлено погрешностями определения скоростей и орбитальных элементов метеоров.

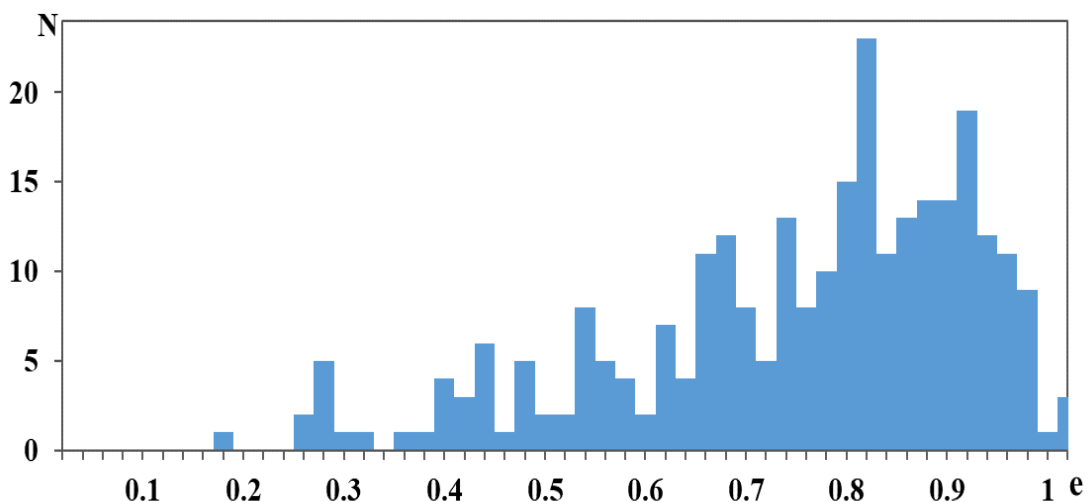


Рисунок 4 – Распределение эксцентриситетов e орбит для выявленных групп метеороидов
Figure 4 – Distribution of orbital eccentricities e for the identified meteoroid groups

Вероятность столкновения метеорных тел с Землёй существенно зависит от параметров их орбит и оказывает заметное влияние на наблюдаемые распределения орбитальных элементов, прежде всего перигелийных расстояний и наклонений. Анализ распределения орбит по перигелийному расстоянию (q), полученного по результатам радиолокационных измерений метеоров в ГисАО, выявил наличие четырёх локальных максимумов функции распределения (рисунок 5).

Перигелийные расстояния орбит обнаруженных групп метеороидов охватывают широкий диапазон значений – от 0.08 до 1.0 а.е., при этом распределение не содержит ярко выраженного глобального максимума. Наиболее заметные концентрации орбит наблюдаются в интервалах $q \approx 0.15 - 0.25$ а.е., $0.40 - 0.45$ а.е. и $0.60 - 0.70$ а.е., а также вблизи $q = 1$ а.е. Последний максимум обусловлен селекционным эффектом наблюдений, поскольку для регистрации метеоров их орбиты должны пересекать орбиту Земли или проходить в непосредственной близости от неё. Наличие нескольких локальных максимумов свидетельствует о неоднородности метеороидной популяции и может быть связано с существованием различных источников метеорного вещества. В целом полученное распределение отражает как разнообразие родительских тел, так и

сложный характер динамической эволюции метеороидов в межпланетном пространстве.

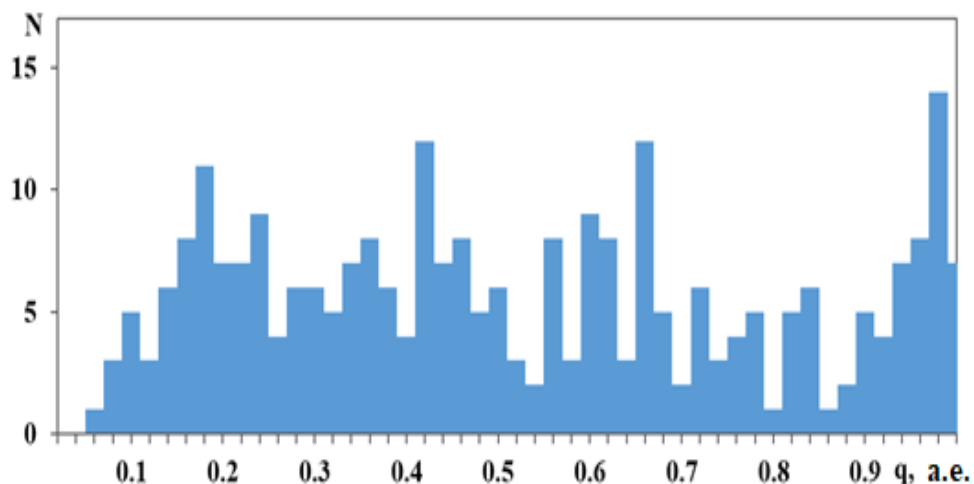


Рисунок 5 – Распределение перигелийного расстояния q орбит для выявленных групп метеороидов
 Figure 5 – Distribution of perihelion distances q of the orbits of the identified meteoroid groups

На рисунке 6 представлено распределение орбит выявленных групп метеороидов по углу наклона орбиты (i). Анализ показывает, что наклонения орбит распределены неравномерно по всему диапазону значений от 0° до 180° . Наибольшее число орбит сосредоточено при малых наклонениях ($i < 25^\circ$), тогда как в интервале $80^\circ < i < 140^\circ$ наблюдается заметное уменьшение их количества. Такое преобладание орбит с малыми наклонениями обусловлено как особенностями происхождения метеороидов, так и действием астрономической селекции, поскольку вероятность встречи метеорного тела с Землёй пропорциональна $\cos i$.

Максимум распределения при $i < 25^\circ$ свидетельствует о преобладающем вкладе метеороидов, связанных с астероидами главного пояса и короткопериодическими кометами, орбиты которых расположены вблизи плоскости эклиптики. Напротив, в диапазоне $80^\circ < i < 140^\circ$ число орбит существенно уменьшается, что связано с меньшим количеством родительских тел, обладающих высоконаклонёнными и ретроградными орбитами, характерными преимущественно для долгопериодических комет. В результате доля соответствующих метеороидов в наблюдаемой выборке оказывается значительно ниже. Полученное распределение отражает как влияние наблюдательной селекции, так и особенности пространственного распределения источников метеорного вещества в Солнечной системе.

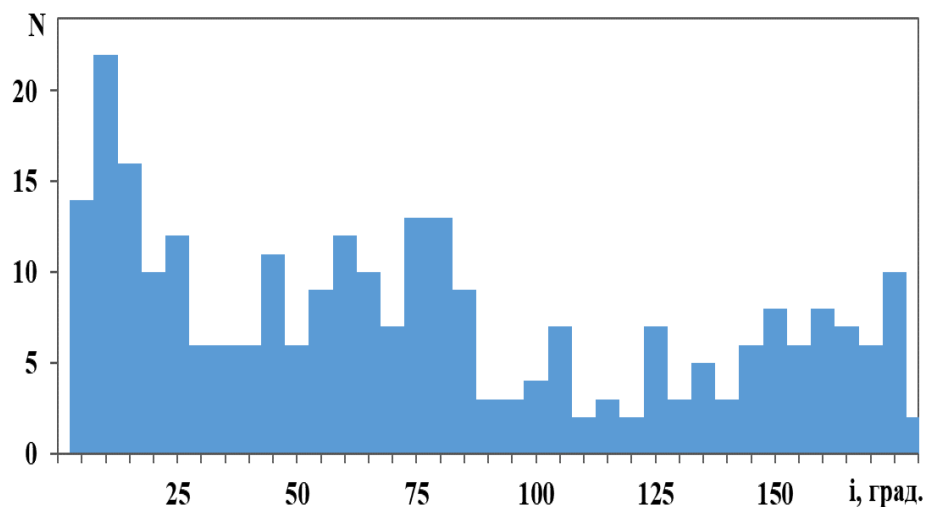


Рисунок 6 – Распределение наклонов орбит i для выявленных групп метеороидов
 Figure 6 – Distribution of orbital inclinations i for the identified meteoroid groups

Для определения типа орбит, помимо эксцентриситета и наклона, используется постоянная Тиссерана T_j . Если её значение удовлетворяет условию $T_j < 3.12$, то орбита классифицируется как кометоподобная, а если $T_j > 3.12$, то она относится к астероидному типу. Согласно рисунку 7, 50% потоков и ассоциаций движутся по кометоподобным орбитам. Несмотря на это, по значению постоянной Тиссерана большинство этих объектов имеют кометное происхождение (рисунок 7).

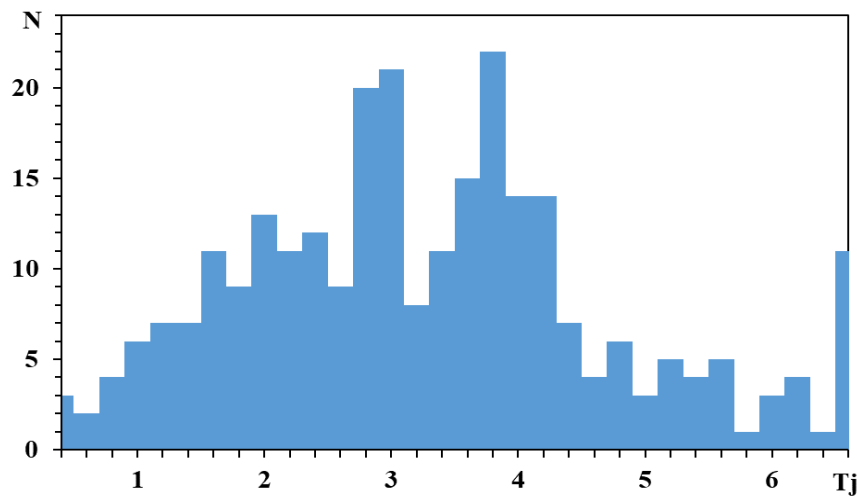


Рисунок 7 – Распределение постоянной Тиссерана T_j для выявленных групп метеороидов
 Figure 7 – Distribution of the Tisserand parameter T_j for the identified meteoroid groups

Обсуждение (Discussions)

Полученные в результате редукции радиолокационных наблюдений данные позволяют существенно расширить представления о пространственно-динамической структуре метеороидного вещества. На основе более 6,5 тыс. индивидуальных орбитальных решений выделено 276 групп метеороидов, включая метеорные потоки, ассоциации и неотожествлённые группы. Распределение радиантов по небесной сфере неоднородно, с заметным преобладанием северных радиантов (рис. 1–3). Это может быть связано с геометрией наблюдений, положением радиолокационной станции и селекционными эффектами.

Анализ орбитальных элементов показывает, что значительная часть групп характеризуется большими эксцентриситетами и сравнительно малыми наклонениями (рис. 4–6), что согласуется с возможным кометным происхождением части метеороидного вещества. При этом наблюдаемое преобладание орбит с малыми наклонениями может частично объясняться условиями регистрации метеоров. В распределении перигелийных расстояний выявлены несколько областей концентрации, которые могут соответствовать различным динамическим популяциям родительских тел.

Классификация по параметру Тиссерана показывает, что около половины исследованных потоков и ассоциаций имеют орбитальные характеристики, близкие к кометным (рис. 7). Сопоставление с результатами предыдущих исследований [16–24] подтвердило соответствие значительной части выявленных ассоциаций ранее известным образованиям.

Вместе с тем значительное число неотожествлённых групп требует дальнейшего изучения и сопоставления с каталогами IAU MDC и орбитами потенциальных родительских тел. Полученные результаты расширяют имеющиеся данные о структуре метеороидного комплекса и выделяют группы, перспективные для последующего динамического исследования.

Таким образом, в исследуемой выборке получено около 6,5 тыс. орбит метеорных тел, вызывающих появление метеоров ярче $+5^m$. Их анализ показал значительное разнообразие орбитальных и динамических характеристик. Были выявлены орбиты с $a < 1$ а.е., почти круговые орбиты, а также некоторое количество

орбит с низкими эксцентриситетами и большими наклонами. Тем не менее, большинство орбит все еще относились к двум упомянутым типам кометных орбит.

Открытие двух новых типов орбит мелких метеорных тел имеет важное значение для изучения происхождения и эволюции метеорного вещества. Две группы кометных орбит связаны между собой, поскольку возмущения со стороны Юпитера и Сатурна могут перевести кометы с орбит типа «а» на орбиты типа «б». Орбиты типа «в» почти не встречаются среди более крупных тел в Солнечной системе и не являются производными от орбит типа «б». Время жизни метеорных тел на короткопериодических орбитах очень мало по сравнению с возрастом в Солнечной системе; следовательно, метеорные тела не могли образоваться на орбитах типа «в». Предположительно, значительная часть мелких метеорных тел образуется на орбитах очень больших размеров. Под воздействием сил торможения (эффект Пойнтинга-Робертсона, воздействие солнечных корпускулярных потоков, сопротивление межпланетной среды и др.) орбиты метеорных тел постепенно уменьшаются, тем быстрее, чем меньше масса тел. В этом процессе в течение определенного промежутка времени орбита становится близкой к орбите Юпитера (или Сатурна), и метеорное тело может испытывать тесные сближения с Юпитером (или Сатурном). Для крупных метеорных тел этот промежуток времени имеет большую продолжительность, и вероятность того, что за это время метеорное тело будет захвачено Юпитером, переброшено на орбиту типа «б» или выброшено из Солнечной системы, велика. Орбиты мелких метеорных тел уменьшаются значительно быстрее, и для них вероятность пройти «барьер Юпитера» (или Сатурна) значительно больше.

К основным достоинствам работы следует отнести большой объем анализируемого материала, комплексный подход к исследованию, а также использование радиолокационных данных, обладающих высокой точностью. Полученные результаты хорошо согласуются с современными представлениями о природе метеорных потоков и вносят существенный вклад в развитие метеорной астрономии.

Заключение (Conclusions)

Проведенный анализ 276 групп метеороидов, выявленных по данным радиолокационных наблюдений, позволил получить статистически обоснованную картину распределения метеорного вещества в околоземном пространстве. Установлено, что значительная часть исследуемых групп (86) относится к метеорным потокам, причём существенная доля из них уже представлена в базе данных Международного астрономического союза (МАС), что подтверждает достоверность полученных результатов. Одновременно выявлено большое количество ассоциаций и ранее неотожествлённых групп (105) как новых групп, требующих дальнейшего изучения, что свидетельствует о продолжающемся процессе пополнения каталога метеорных потоков.

В результате проведенного исследования установлено, что метеороидная популяция характеризуется значительным разнообразием радиантов и орбитальных характеристик. Выявленная асимметрия распределения радиантов в основном определяется условиями наблюдений, тогда как особенности эксцентриситетов, наклонов и параметра Тиссерана указывают на существенную долю метеороидов, связанных с кометными источниками. Полученные данные расширяют сведения о структуре метеорных потоков и ассоциаций и показывают перспективность радиолокационного метода для их дальнейшей идентификации и изучения.

Рецензент: Бахромзод Р. – к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Физико-технического института имени С.У. Умарова НАНУП.

Литература

1. Peña-Asensio, E. Statistical equivalence of metrics for meteor dynamical association / E. Peña-Asensio, J. M. Sánchez-Lozano // *Advances in Space Research*. – 2024. – Vol. 74, № 2. – P. 1073–1089. – DOI: 10.1016/j.asr.2024.05.005.

2. Ďurišová, S. Independent identification of meteor showers from the EDMOND and the search for their parent bodies / S. Ďurišová, J. Tóth, M. Hajduková // *Planetary and Space Science*. – 2023. – Vol. 236. – Art. 105752. – DOI: 10.1016/j.pss.2023.105752.
3. Hajduková, M. On the parent bodies of meteor showers / M. Hajduková, S. Ďurišová, L. Neslušan, T. J. Jopek, R. Rudawska // *Asteroids, Comets, Meteors Conference 2023*. – 2023. – LPI Contribution № 2851. – Abstract № 2368.
4. Ceplecha, Z. Meteor phenomena and bodies / Z. Ceplecha, J. Borovička, W. G. Elford [et al.] // *Space Science Reviews*. – 1998. – Vol. 84. – P. 327–471.
5. Vida, D. The Global Meteor Network – Methodology and first results / D. Vida, P. S. Gural, P. G. Brown et al. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2021. – Vol. 506, № 4. – P. 5046–5074. – DOI: 10.1093/mnras/stab2008.
6. Moorhead, A. V. Meteor shower radiant dispersions in Global Meteor Network data / A. V. Moorhead, D. Vida, P. G. Brown et al. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2021. – Vol. 508, № 1. – P. 326–342. – DOI: 10.1093/mnras/stab2620.
7. Neslušan, L. The meteoroid stream of comet 109P/Swift-Tuttle, Perseids, and further related meteor showers / L. Neslušan, M. Hajduková // *Icarus*. – 2022. – Vol. 382. – Art. 115015. – DOI: 10.1016/j.icarus.2022.115015.
8. Ďurišová, S. Independent identification of meteor showers from the EDMOND and the search for their parent bodies / S. Ďurišová, J. Tóth, M. Hajduková // *Planetary and Space Science*. – 2023. – Vol. 236. – Art. 105752. – DOI: 10.1016/j.pss.2023.105752.
9. Peña-Asensio, E. Statistical equivalence of metrics for meteor dynamical association / E. Peña-Asensio, J. M. Sánchez-Lozano // *Advances in Space Research*. – 2024. – Vol. 74, № 2. – P. 1073–1089. – DOI: 10.1016/j.asr.2024.05.005.
10. Худжаназаров, Х. Ф. Потоки и ассоциации метеороидов, идентифицированные по результатам радионаблюдений в ГисАО за декабрь 1969 г. / Х. Ф. Худжаназаров, М. Нарзиев // *Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. – 2022. – № 1. – С. 140–154.
11. Худжаназаров, Х. Ф. Идентификация потоков и ассоциаций радиометеоров за вторую половину января 1970 г. / Х. Ф. Худжаназаров // *Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции*. – 2025. – № 1(69). – С. 16–23.
12. Нарзиев, М. Январские метеорные потоки и ассоциации по результатам радиолокационных наблюдений в ГисАО / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров, Т. Ё. Йопек // *Доклады Национальной академии наук Таджикистана*. – 2023. – Т. 66, № 9–10. – С. 550–560.
13. Narziev, M. Meteoroid streams and associations based on radar observations at the Hisar Astronomical Observatory in January 1970 / M. Narziev, H. F. Khujanazarov // *Advances in Space Research*. – 2026. – Vol. 77, No. 6. – P. 7484–7493. – DOI 10.1016/j.asr.2026.01.021.
14. Хучаназаров, Х. Ф. Ошкор намудани селҳо ва ассотсиатсияҳои метеории моҳи феврал / Х. Ф. Хучаназаров, М. Нарзиев // *Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы астрофизики», посвященная «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020–2040 годы)»*. – Душанбе, 2024. – С. 73–84. ISBN 978-99985-46-49-3.
15. Лебединец, В. Н. Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры / В. Н. Лебединец. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 246 с.
16. Кашеев, Б. Л. Метеорные явления в атмосфере Земли / Б. Л. Кашеев, В. Н. Лебединец, М. Ф. Лагутин. – М.: Наука, 1967. – 260 с.
17. Лебединец, В. Н. Потоки радиометеоров / В. Н. Лебединец, В. Н. Корпусов, А. К. Соснова // *Физика верхней атмосферы. Труды ИЭМ*. – 1972. – Т. 34. – № 1. – С. 88–171.
18. Sekanina, Z. Statistical Model of Meteor Streams. IV. A Study of Radio Streams from the Synoptic Year / Z. Sekanina, C. Miller // *Icarus*. – 1976. – Vol. 27. – No 2. – P. 265–321.
19. Narziev, M. Physical and kinematic characteristics of meteoroids producing bright radio meteors / M. Narziev // *The Meteoroids 2013: Proceedings of the Astronomical Conference held at A. M. University, Poznań, Poland, Aug. 26–30, 2013 / Eds. T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams*. – Poznań: A. M. University Press, 2014. – P. 163–176.
20. Терентьева, А. К. Исследования метеоров, Малые метеорные рои / А. К. Терентьева. – М.: Наука, 1966. – С. 62–132.
21. Sekanina, Z. Statistical Model of Meteor Streams. III. Stream Search Among 19303 Radio Meteors / Z. Sekanina, J. Cook, T. Harris // *Icarus*. – 1973. – Vol. 18. – No 2. – P. 253–284.
22. Terentjeva, A. K. Fireball streams / A. K. Terentjeva // *WGN, Journal of the International Meteor Organization*. – 1989. – Vol. 17. – No 6. – P. 242–245.
23. Rudawska, R. New meteor showers identified in the CAMS and SonotaCo meteoroid orbit surveys / R. Rudawska, P. Jenniskens // *The Meteoroids 2013, Proceedings of the Astronomical Conference held at A.M. University / ed. T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams*. – Poznań, 2014. – P. 217–224.

24. Rudawska, R. Independent identification of meteor showers in EDMOND database / R. Rudawska, P. Matlovič, J. Tóth, L. Kornoš // *Planetary and Space Science*. – 2015. – Vol. 118, – P. 38–47. doi.org/10.1016/j.pss.2015.07.011

References

1. Peña-Asensio, E. Statistical equivalence of metrics for meteor dynamical association / E. Peña-Asensio, J. M. Sánchez-Lozano // *Advances in Space Research*. – 2024. – Vol. 74, № 2. – P. 1073–1089. – DOI: 10.1016/j.asr.2024.05.005.
2. Ďurišová, S. Independent identification of meteor showers from the EDMOND and the search for their parent bodies / S. Ďurišová, J. Tóth, M. Hajduková // *Planetary and Space Science*. – 2023. – Vol. 236. – Art. 105752. – DOI: 10.1016/j.pss.2023.105752.
3. Hajduková, M. On the parent bodies of meteor showers / M. Hajduková, S. Ďurišová, L. Neslušan, T. J. Jopek, R. Rudawska // *Asteroids, Comets, Meteors Conference 2023*. – 2023. – LPI Contribution № 2851. – Abstract № 2368.
4. Ceplecha, Z. Meteor phenomena and bodies / Z. Ceplecha, J. Borovička, W. G. Elford [et al.] // *Space Science Reviews*. – 1998. – Vol. 84. – P. 327–471.
5. Vida, D. The Global Meteor Network – Methodology and first results / D. Vida, P. S. Gural, P. G. Brown et al. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2021. – Vol. 506, № 4. – P. 5046–5074. – DOI: 10.1093/mnras/stab2008.
6. Moorhead, A. V. Meteor shower radiant dispersions in Global Meteor Network data / A. V. Moorhead, D. Vida, P. G. Brown et al. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2021. – Vol. 508, № 1. – P. 326–342. – DOI: 10.1093/mnras/stab2620.
7. Neslušan, L. The meteoroid stream of comet 109P/Swift-Tuttle, Perseids, and further related meteor showers / L. Neslušan, M. Hajduková // *Icarus*. – 2022. – Vol. 382. – Art. 115015. – DOI: 10.1016/j.icarus.2022.115015.
8. Ďurišová, S. Independent identification of meteor showers from the EDMOND and the search for their parent bodies / S. Ďurišová, J. Tóth, M. Hajduková // *Planetary and Space Science*. – 2023. – Vol. 236. – Art. 105752. – DOI: 10.1016/j.pss.2023.105752.
9. Peña-Asensio, E. Statistical equivalence of metrics for meteor dynamical association / E. Peña-Asensio, J. M. Sánchez-Lozano // *Advances in Space Research*. – 2024. – Vol. 74, № 2. – P. 1073–1089. – DOI: 10.1016/j.asr.2024.05.005.
10. Khujanazarov, H. F. Meteor streams and associations identified from radio observations at the Hisar Astronomical Observatory in December 1969 / H. F. Khujanazarov, M. Narziev // *Bulletin of the Tajik National University, Series of Natural Sciences*. – 2022. – No. 1. – P. 140–154.
11. Khujanazarov, H. F. Identification of streams and associations of radio meteors during the second half of January 1970 / H. F. Khujanazarov // *Polytechnical Bulletin. Series: Intellect. Innovation. Investment*. – 2025. – No. 1(69). – P. 16–23.
12. Narziev, M. January meteor streams and associations based on radar observations at the Hisar Astronomical Observatory / M. Narziev, H. F. Khujanazarov, T. J. Jopek // *Reports of the National Academy of Sciences of Tajikistan*. – 2023. – Vol. 66, No. 9–10. – P. 550–560.
13. Narziev, M. Meteoroid streams and associations based on radar observations at the Hisar Astronomical Observatory in January 1970 / M. Narziev, H. F. Khujanazarov // *Advances in Space Research*. – 2026. – Vol. 77, No. 6. – P. 7484–7493. – DOI 10.1016/j.asr.2026.01.021.
14. Khujanazarov, H. F. Identification of meteor streams and associations in February / H. F. Khujanazarov, M. Narziev // *International Scientific and Practical Conference “Modern Problems of Astrophysics,” dedicated to the “Twentieth Anniversary of the Study and Development of Natural, Exact and Mathematical Sciences in Science and Education (2020–2040).”* – Dushanbe, 2024. – P. 73–84. ISBN 978-99985-46-49-3.
15. Lebedinets, V. N. Dust in the Upper Atmosphere and Outer Space. Meteors / V. N. Lebedinets. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980. – 246 p.
16. Kashcheev, B. L. Meteor phenomena in the Earth's atmosphere / B. L. Kashcheev, V. N. Lebedinets, M. F. Lagutin. – Moscow: Nauka, 1967. – 260 p.
17. Lebedinets, V. N. Radio meteor streams / V. N. Lebedinets, V. N. Korpusov, A. K. Sosnova // *Physics of the Upper Atmosphere. Proceedings of IEM*. – 1972. – Vol. 34. – No. 1. – P. 88–171.
18. Sekanina, Z. Statistical Model of Meteor Streams. IV. A Study of Radio Streams from the Synoptic Year / Z. Sekanina, C. Miller // *Icarus*. – 1976. – Vol. 27. – No. 2. – P. 265–321.
19. Narziev, M. Physical and kinematic characteristics of meteoroids producing bright radio meteors / M. Narziev // *The Meteoroids 2013: Proceedings of the Astronomical Conference held at A. M. University, Poznań, Poland, Aug. 26–30, 2013* / Eds. T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams. – Poznań: A. M. University Press, 2014. – P. 163–176.
20. Terentjeva, A. K. Meteor studies, Small meteor showers / A. K. Terentjeva. – Moscow: Nauka, 1966. – P. 62–132.

21. Sekanina, Z. Statistical Model of Meteor Streams. III. Stream Search Among 19303 Radio Meteors / Z. Sekanina, J. Cook, T. Harris // Icarus. – 1973. – Vol. 18. – No. 2. – P. 253–284.
22. Terentjeva, A. K. Fireball streams / A. K. Terentjeva // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 1989. – Vol. 17. – No. 6. – P. 242–245.
23. Rudawska, R. New meteor showers identified in the CAMS and SonotaCo meteoroid orbit surveys / R. Rudawska, P. Jenniskens // The Meteoroids 2013, Proceedings of the Astronomical Conference held at A.M. University / ed. T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams. – Poznań, 2014. – P. 217–224.
24. Rudawska, R. Independent identification of meteor showers in EDMOND database / R. Rudawska, P. Matlovič, J. Tóth, L. Kornoš // Planetary and Space Science. – 2015. – Vol. 118. – P. 38–47. doi.org/10.1016/j.pss.2015.07.011

Сведения об авторах:

Нурзода Хабибджон Файзали, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ассистент, Институт астрофизики Национальной академии наук Таджикистана, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID: 0000-0003-2009-0237. E-mail: habibjon_2012@mail.ru.

Нарзиев Мирхусен, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт астрофизики Национальной академии наук Таджикистана. ORCID: 0009-0008-5665-0754. E-mail: mirhusseyn_narzi@mail.ru.

Латипов Манучехр Нурахмадович, научный сотрудник, Институт астрофизики Национальной академии наук Таджикистана. E-mail: manu90_09@mail.ru.

Маълумот оид ба муаллифон:

Нурзода Хабибҷон Файзали, номзоди илмҳои физикаю математика, ходими калони илмӣ, ассистент, Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими. ORCID: 0000-0003-2009-0237. E-mail: habibjon_2012@mail.ru.

Нарзиев Мирхусен, номзоди илмҳои физикаю математика, ходими пешбари илмӣ, Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. ORCID: 0009-0008-5665-0754. E-mail: mirhusseyn_narzi@mail.ru.

Латипов Манучехр Нурахмадович, ходими илмӣ, Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: manu90_09@mail.ru.

Information about the authors:

Nurzoda Habibjon Faizali, Cand. Sci. (Phys.-Math), Senior Researcher, Assistant, Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: 0000-0003-2009-0237. E-mail: habibjon_2012@mail.ru.

Narziev Mirhusen, Cand. Sci. (Phys.-Math), Leading Researcher, Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan. ORCID: 0009-0008-5665-0754. E-mail: mirhusseyn_narzi@mail.ru.

Latipov Manuchehr Nurahmadovich, Researcher, Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail: manu90_09@mail.ru.

УДК: 523.6

DOI: 10.65599/III4559

МОРФОЛОГИЯ ВНУТРЕННЕЙ КОМЫ КОМЕТЫ 41P/TUTTLE-GIACOBINI-KRESÁK ПО ДАННЫМ ПЗС-НАБЛЮДЕНИЙ ГИССАРСКОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

А.М. Буризода

Национальная академия наук Таджикистана, Институт астрофизики НАНТ, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В работе представлены результаты исследования морфологии внутренней комы короткопериодической кометы 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák по данным ПЗС-наблюдений, выполненных в 2017 г. на телескопе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории Института астрофизики Национальной академии наук Таджикистана. Цель исследования заключалась в выявлении слабоконтрастных структур во внутренней коме и оценке устойчивости их пространственной ориентации в течение рассматриваемого периода наблюдений. Для повышения контрастности деталей и выделения азимутальных неоднородностей распределения яркости применён алгоритм цифровой обработки изображений Ларсона – Секанины. Обработка всего массива наблюдательных данных позволила выявить устойчивый доминирующий пылевой джет, исходящий из области центральной конденсации кометы. Для характеристики пространственной ориентации обнаруженной структуры были выполнены измерения позиционного угла джета на обработанных изображениях. Установлено, что в течение периода наблюдений значения позиционного угла изменялись в пределах от 281° до 293°, а среднее значение составляло около 287,5°. Существенных изменений направления джета за рассматриваемый интервал времени не обнаружено. Небольшой диапазон измеренных значений позиционного угла указывает на устойчивый характер наблюдаемой морфологической структуры. Полученные результаты свидетельствуют о сохранении пространственной ориентации доминирующего пылевого джета и, следовательно, о стабильном проявлении локализованной пылевой активности кометы 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák в течение выполненных наблюдений.

Ключевые слова: 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák, кометы, внутренняя кома, морфология, джет, алгоритм Ларсона-Секанины, ПЗС-наблюдения.

МОРФОЛОГИЯ КОМАИ ДОХИЛИИ КОМЕТАИ 41P/TUTTLE-GIACOBINI-KRESÁK AZ RŪYI MAʼLUMOTI MUŠOẖIDAẖOI ANB DAR RASADẖONAI ASTRONOMII ẖISOR

А.М. Бӯризода

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Институти астрофизикаи АМИТ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола натиҷаҳои таҳқиқи морфологияи комаи дохилии кометаи кӯтоҳдаври 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák дар асоси маълумоти мушоҳидаҳои АНБ, ки соли 2017 бо телескопи АЗТ-8-и Расадхонаи астрономии Ҳисори Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон анҷом дода шудаанд, пешниҳод мегарданд. Ҳадафи таҳқиқот ошкор намудани сохторҳои дорои контрасти паст дар комаи дохилӣ ва баҳодиҳии устувории самтгирии фазои онҳо дар давраи баррасишавандаи мушоҳидаҳо буд. Барои баланд бардоштани контрасти чузъиёти тасвир ва ҷудо намудани номуназмиҳои азимутии тақсимои дурахшонӣ алгоритми коркарди рақамии тасвирҳои Ларсон – Секанина татбиқ гардид. Коркарди маҷмӯи пурраи маълумоти мушоҳидавӣ имкон дод, ки ҷети ҷангии устувор ва бартаридошта, ки аз минтақаи конденсатсияи марказии комета хориҷ мегардад, ошкор карда шавад. Барои тавсифи самтгирии фазои сохтори ошкоршуда дар тасвирҳои коркардшуда кунҷи мавқеи ҷет ҷен карда шуд. Муайян гардид, ки дар давраи мушоҳидаҳо киматҳои кунҷи мавқеи ҷет ҳудуди аз 281° то 293° тағйир ёфта, кимати миёнаи он тақрибан 287,5°-ро ташкил медиҳад. Дар фосилаи замони баррасишуда тағйироти назаррас дар самти ҷет ошкор нагардид. Диапазони начандон васеи киматҳои ҷеншудаи кунҷи мавқеи ҷет аз хусусияти устувори сохтори морфологияи мушоҳидашуда шаҳодат медиҳад. Натиҷаҳои бадастомада нигоҳ доштани самтгирии фазои ҷети ҷангии бартаридошта ва, аз ин рӯ, зухуроти устувори фаъолияти локалии ҷангии кометаи 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák-ро дар давраи мушоҳидаҳои анҷомдодашуда тасдиқ менамоянд.

Калидвожаҳо: 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák, кометаҳо, комаи дохилӣ, морфология, ҷет, алгоритми Ларсон–Секанина, мушоҳидаҳои АНБ.

MORPHOLOGY OF THE INNER COMA OF COMET 41P/TUTTLE-GIACOBINI-KRESÁK BASED ON CCD OBSERVATIONS AT THE HISAR ASTRONOMICAL OBSERVATORY

M. Burizoda

National Academy of Sciences of Tajikistan, Institute of Astrophysics, National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This paper presents the results of an investigation of the inner-coma morphology of the short-period comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák based on CCD observations carried out in 2017 with the AZT-8 telescope at the Hisar Astronomical Observatory of the Institute of Astrophysics, National Academy of Sciences of Tajikistan. The study aimed to identify low-contrast structures in the inner coma and assess the stability of their spatial orientation during the observing period under consideration. The Larson–Sekanina digital image-processing algorithm was applied to enhance the contrast of image features and isolate azimuthal inhomogeneities in the brightness distribution. Processing of the complete observational data set revealed a persistent, dominant dust jet emanating from the region of the comet's central condensation. To characterize the spatial orientation of the detected structure, the position angle of the jet was measured in the processed images. During the observing period, the position angle varied from 281° to 293°, with a mean value of approximately 287.5°. No significant changes in the jet direction were detected over the time interval considered. The relatively narrow range of the measured position angles indicates the stable nature of the observed morphological structure. These results indicate that the dominant dust jet maintained its spatial orientation and, consequently, that the comet exhibited stable

localized dust activity throughout the observations.

Keywords: 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák, comets, inner coma, morphology, jet, Larson-Sekanina algorithm, CCD observations.

Введение (Introduction)

Исследование морфологии внутренней комы является одним из наиболее информативных методов дистанционного изучения физических процессов, протекающих на поверхности кометных ядер. Пространственная структура внутренней комы формируется в результате локализованного истечения газа и пыли из активных областей ядра и отражает особенности распределения активности, геометрию выбросов вещества и вращательное состояние кометы [1 – 4]. Анализ морфологических структур позволяет получать информацию о физических механизмах кометной активности и свойствах поверхностных слоёв ядра.

Современные цифровые методы обработки изображений существенно расширили возможности исследования внутренней комы. Среди них широкое применение получил алгоритм Ларсона–Секанины, позволяющий эффективно выявлять слабоконтрастные струйные структуры, оболочки и другие морфологические особенности, неразличимые на исходных ПЗС-изображениях [5]. Использование данного метода создаёт возможность исследовать пространственную организацию кометной активности и её временную эволюцию.

Важное значение для интерпретации морфологических структур имеет их сопоставление с фотометрическими и физическими характеристиками кометной активности. Так, по результатам ПЗС-наблюдений кометы C/2017 K2 (Pan-STARRS), выполненных в 2021 г. на телескопе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории, было установлено увеличение размеров комы по мере приближения кометы к Солнцу. С применением динамического метода были получены оценки радиуса, объёма и массы пылевой составляющей комы. Рассчитанные характеристики, включая скорости сублимации H_2O и CO_2 , были интерпретированы как свидетельство существенной роли летучих соединений и процессов, связанных с переходом аморфного водяного льда в кристаллическое состояние, в поддержании активности кометы на гелиоцентрических расстояниях более 5 а.е. [6].

В другой работе, посвящённой вариациям кривых блеска и фотометрических параметров некоторых активных комет семейства Юпитера, были выявлены изменения формы кривых блеска, абсолютных звёздных величин и других фотометрических характеристик при последовательных возвращениях комет к Солнцу. Полученные результаты указывают на существенное влияние процессов, протекающих в кометных ядрах и окружающем их пространстве, на наблюдаемый блеск и фотометрическую эволюцию исследованных объектов [7]. Эти исследования подчёркивают целесообразность совместного анализа фотометрических характеристик и морфологических структур комы при изучении физических механизмов кометной активности.

Особый интерес представляет короткопериодическая комета 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák, относящаяся к семейству Юпитера. Во время её появления в 2017 г. было зарегистрировано одно из наиболее быстрых изменений периода вращения ядра среди известных комет. Данное изменение связывают с действием реактивных моментов, обусловленных неравномерным истечением вещества из локализованных активных областей [8, 9]. Несмотря на многочисленные исследования фотометрических характеристик и вращательной эволюции этой кометы, морфология её внутренней комы изучена значительно менее подробно. Количественные оценки устойчивости пространственной ориентации струйных структур, полученные по данным независимых наземных ПЗС-наблюдений, также остаются весьма ограниченными [8, 10].

В настоящей статье представлены результаты исследования морфологии внутренней комы кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák по данным ПЗС-наблюдений, выполненных в период её появления в 2017 г. на телескопе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории Института астрофизики Национальной академии наук Таджикистана. В результате обработки изображений с применением алгоритма

Ларсона–Секанины выявлен доминирующий пылевой джет, измерен его позиционный угол и исследована устойчивость пространственной ориентации обнаруженной структуры в течение периода наблюдений.

Наблюдения и обработка изображений (*Observations and Image Processing*)

Наблюдения. Наблюдения короткопериодической кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák были выполнены 16-22 апреля 2017 г. на рефракторе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории (ГисАО) Института астрофизики Национальной академии наук Таджикистана в период благоприятных условий её наблюдения. Телескоп имеет диаметр объектива 700 мм и фокусное расстояние 2820 мм.

Регистрация изображений осуществлялась с использованием ПЗС-камеры FLI MicroLine 9000, оснащённой матрицей размером 3056×3056 пикселей с физическим размером пикселя 12 мкм. Наблюдения проводились с биннингом 2×2 , в результате чего рабочий размер изображений составлял 1528×1528 пикселей. При данном режиме регистрации масштаб изображения составлял 1.75"/пиксель, а поле зрения - около $44.7' \times 44.7'$. Регистрация выполнялась в широкополосных фотометрических фильтрах системы Johnson-Cousins (BVRI). Время экспозиции отдельных кадров изменялось от 5 до 60 с в зависимости от яркости кометы и условий наблюдений [2].

Для уменьшения уровня теплового шума ПЗС-матрица охлаждалась до температуры -20°C . В ходе наблюдательной кампании было зарегистрировано 638 ПЗС-изображений кометы. После оценки качества кадров, отношения сигнал/шум, формы изображений звёзд и отсутствия инструментальных дефектов для дальнейшего морфологического анализа были отобраны 264 наиболее качественных изображений.

Даты наблюдений, время регистрации, количество использованных изображений, экспозиции t , гелиоцентрическое расстояние r , геоцентрическое расстояние Δ , и фазовый угол (α) приведены в табл. 1.

Таблица 1– Журнал наблюдений кометы 41P/Туттля-Джакобини-Кресака
Table 1 – Observation Log for Comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák

Дата наблюдения, UT	Время, UT	Фильтр	r , а.е.	Δ , а.е.	α , град.	t , с
18.04.2017	20 20 12	44xR	1.048	0.163	70.0	5-60
18.04.2017	20:24:06	44xI	1.048	0.163	70.0	5-60
19.04.2017	19:43:07	30xR	1.049	0.165	69.8	5-60
19.04.2017	19:48:39	30xI	1.049	0.165	69.8	5-60
23.04.2017	20:52:37	38xR	1.056	0.173	68.6	5-60
23.04.2017	20:57:02	38xI	1.056	0.173	68.6	5-60
25.04.2017	16:59:38	20xR	1.060	0.178	67.7	5-60
25.04.2017	17:02:22	20xI	1.060	0.178	67.7	5-60

Первичная обработка изображений. Первичная обработка ПЗС-изображений выполнялась по стандартной методике цифровой редукции астрономических наблюдений. Для устранения инструментальных эффектов использовались калибровочные кадры Bias, Dark и Flat, полученные в течение каждой наблюдательной ночи.

Кадры Bias применялись для определения уровня электронного смещения ПЗС-матрицы, Dark - для компенсации темнового сигнала, а Flat - для коррекции неоднородности чувствительности матрицы и виньетирования оптической системы. После выполнения калибровки все изображения подвергались визуальному контролю качества. Из дальнейшей обработки исключались кадры с низким отношением сигнал/шум, следами облачности, смещением изображения или другими дефектами, способными повлиять на результаты морфологического анализа.

Для повышения отношения сигнал/шум изображения, полученные при одинаковых условиях наблюдений, дополнительно объединялись в составные изображения после предварительного совмещения по фотометрическому центру

кометы. Полученные суммарные изображения использовались наряду с отдельными кадрами при анализе структуры внутренней комы.

Морфологическая обработка изображений. Для выявления слабоконтрастных морфологических структур внутренней комы использовался алгоритм цифровой обработки изображений Ларсона-Секанины, широко применяемый при исследовании внутренней структуры кометных атмосфер [5]. Данный алгоритм позволяет существенно повысить контраст локальных неоднородностей распределения яркости за счёт подавления радиально-симметричной составляющей комы.

Обработка выполнялась как для каждого отдельного ПЗС-изображения, так и для составных изображений, сформированных из серий кадров, полученных в одинаковых условиях наблюдений. Сопоставление результатов обработки обоих типов изображений позволяло оценить воспроизводимость выявленных деталей и исключить структуры, возникающие вследствие шумов ПЗС-матрицы, космических частиц или особенностей цифровой обработки. В дальнейшем анализировались только те морфологические образования, которые устойчиво проявлялись как на отдельных, так и на составных изображениях.

Для количественного анализа выявленных струйных структур на каждом обработанном изображении определялся позиционный угол доминирующего джета относительно фотометрического центра кометы. Измерения выполнялись независимо для всех серий наблюдений, после чего анализировалась временная изменчивость пространственной ориентации джета и оценивалась её устойчивость в течение всего периода наблюдений.

Результаты (Results)

Морфология внутренней комы на исходных ПЗС-изображениях. До применения цифровой обработки морфология внутренней комы кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák анализировалась по исходным ПЗС-изображениям, полученным в фотометрических фильтрах R и I. На всех кадрах наблюдалась яркая центральная конденсация, окружённая почти симметричной комой, поверхностная яркость которой монотонно уменьшалась с увеличением расстояния от фотометрического центра.

На исходных изображениях признаки выраженных струйных структур практически не различались вследствие высокой интенсивности центральной конденсации и быстрого радиального уменьшения яркости комы. Вместе с тем на отдельных кадрах отмечалась слабая асимметрия распределения яркости, свидетельствующая о возможном существовании локализованных пылевых структур, требующих применения специальных методов цифровой обработки. Исходное ПЗС-изображение кометы приведено на рис. 1.

Морфология внутренней комы после цифровой обработки изображений. Для повышения контрастности слабых морфологических деталей все ПЗС-изображения были обработаны с использованием алгоритмов Difference of Gaussians и Larson-Sekanina. Применение обоих методов позволило существенно повысить контраст внутренней комы и выявить структуры.

Несмотря на различие используемых алгоритмов, результаты обработки хорошо согласуются между собой. На всех сериях наблюдений как на отдельных, так и на составных изображениях уверенно выявляется одна доминирующая струйная структура (джет), начинающаяся в непосредственной окрестности фотометрического центра и направленная преимущественно в западо-северо-западный сектор комы (рис. 2). Джет отчётливо прослеживается в фильтрах R и I, сохраняя близкие морфологические характеристики независимо от даты наблюдений и применённого метода обработки, что свидетельствует о его физической природе и исключает возможность интерпретации как артефакта цифровой обработки.

Метод Larson-Sekanina наиболее эффективно выделяет радиальную структуру доминирующего джета, тогда как метод Difference of Gaussians обеспечивает более контрастное отображение локальных неоднородностей распределения яркости в околядерной области, что повышает достоверность выявленных морфологических особенностей.

Помимо доминирующего джета, на отдельных обработанных изображениях обнаруживаются слабые локальные неоднородности распределения яркости. Однако эти образования не характеризуются устойчивой повторяемостью, имеют значительно меньшую контрастность и изменяются в зависимости от даты наблюдений, используемого фильтра и метода обработки. Обработанные изображения внутренней комы представлены на рис. 2.

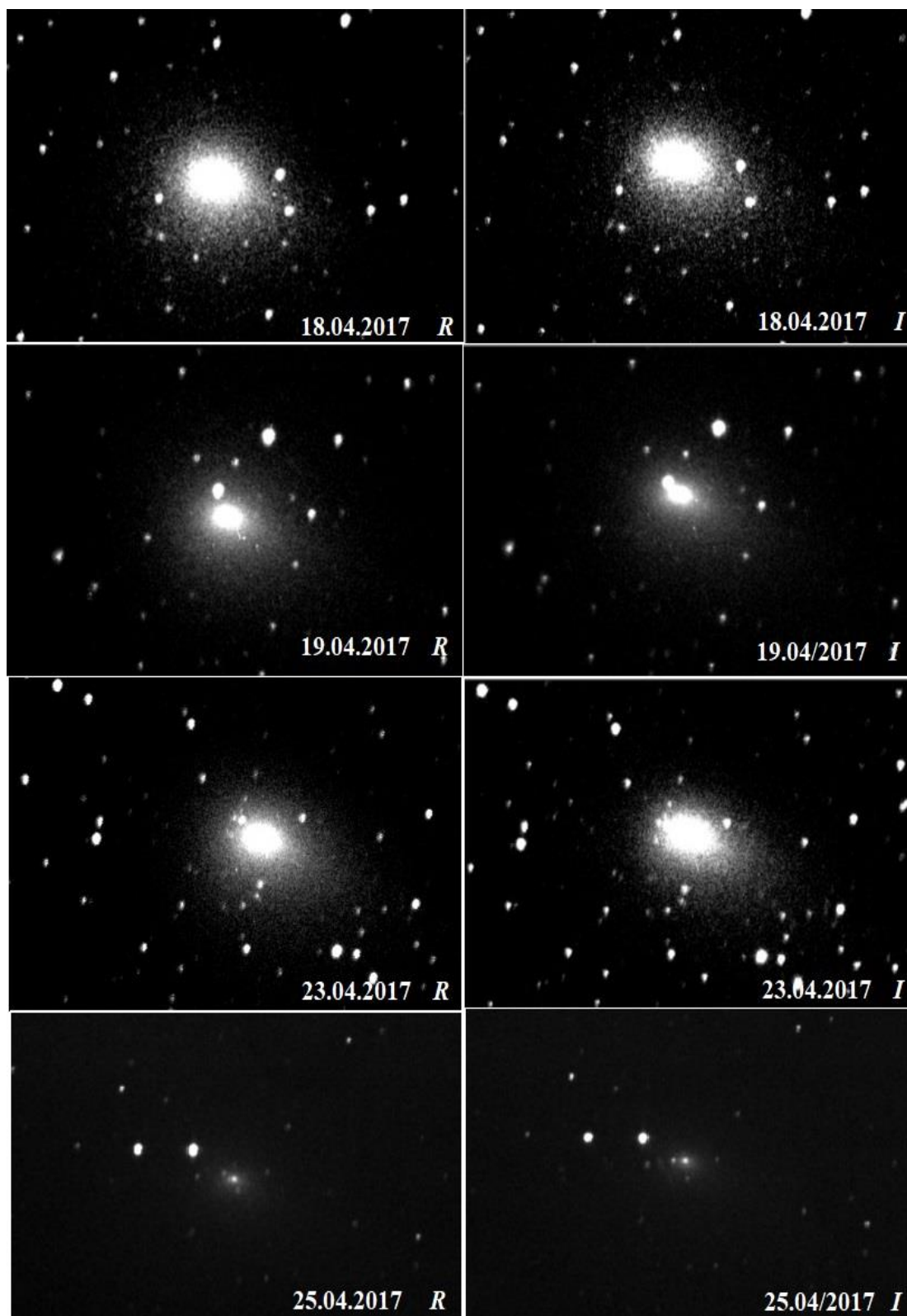


Рисунок 1 – Исходное ПЗС-изображение кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák, полученное на телескопе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории

Figure 1 – Original CCD image of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák obtained with the AZT-8 telescope at the Hisar Astronomical Observatory

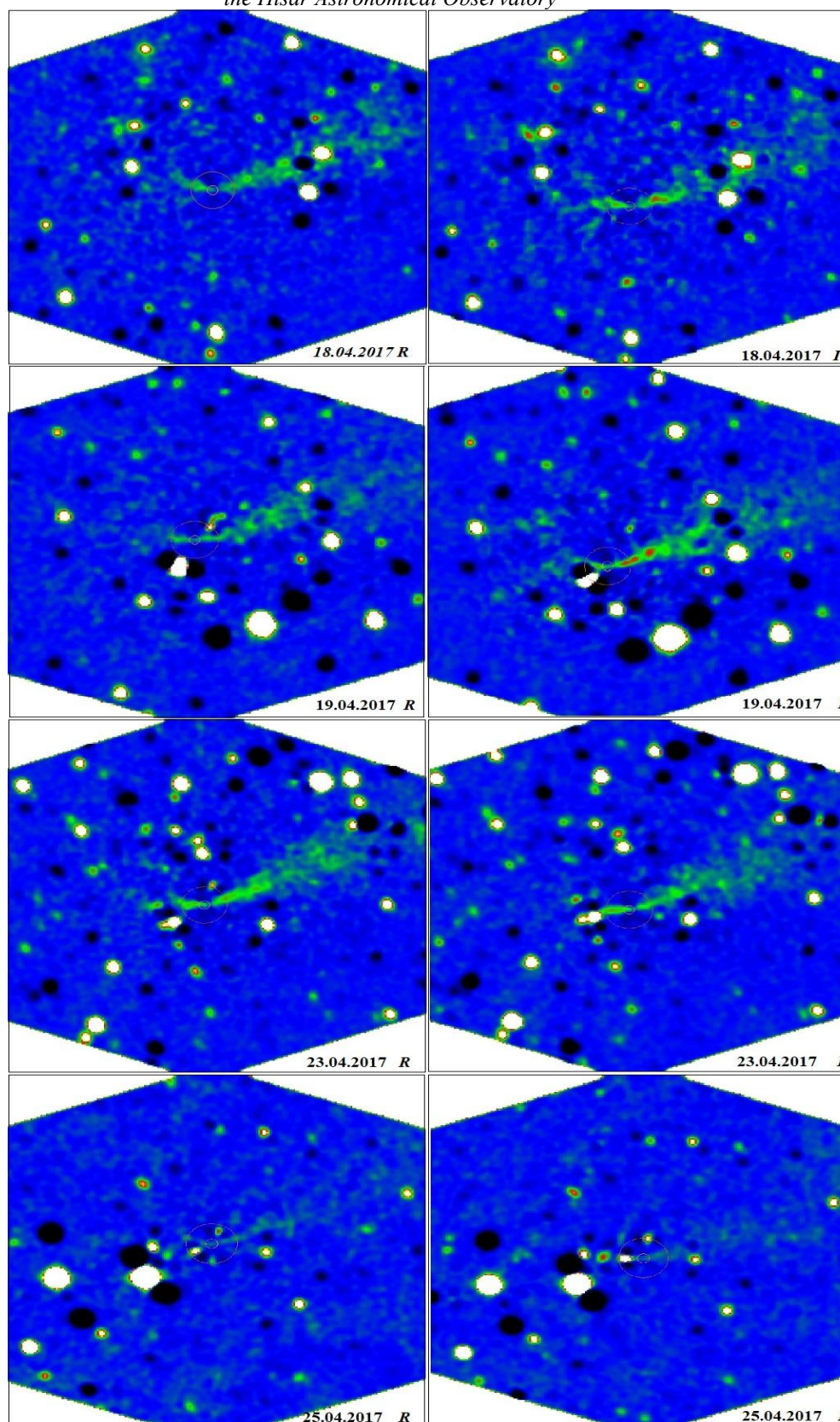


Рисунок 2 – Морфология внутренней комы кометы 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák после обработки алгоритмом Ларсона–Секанины

Figure 2 – Morphology of the inner coma of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák after processing with the Larson–Sekanina algorithm

Пространственная ориентация доминирующего джета. Для количественной характеристики выявленной струйной структуры были выполнены измерения её позиционного угла относительно фотометрического центра кометы.

Измерения проводились независимо для всех обработанных изображений каждой серии наблюдений. Полученные значения представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Измеренные значения позиционного угла, доминирующего джета
Table 2 – Measured Position Angles of the Dominant Jet

Дата	Фильтр	(PA) главного джета, град.
18.04.2017	R	287 ±1
18.04.2017	I	289 ±2
19.04.2017	R	291 ±1
19.04.2017	I	289 ±2
23.04.2017	R	281 ±3
23.04.2017	I	287 ±3
25.04.2017	R	293 ±5
25.04.2017	I	283 ±5

Анализ полученных данных показал, что в течение периода наблюдений позиционный угол доминирующего джета изменялся в пределах 281° – 293°. Среднее значение позиционного угла составило около 287.5°.

Несмотря на небольшие изменения положения джета между отдельными наблюдательными сериями, его пространственная ориентация оставалась практически постоянной. Разброс измеренных значений не превышает нескольких градусов и находится в пределах ожидаемой точности измерений.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой устойчивости пространственной ориентации доминирующего джета на протяжении всего интервала наблюдений.

Обсуждение (*Discussions*)

Морфологический анализ внутренней комы кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák показал, что на протяжении всего периода наблюдений доминирующей особенностью её внутренней структуры являлся устойчивый пылевой джет, выявленный после обработки ПЗС-изображений алгоритмом Ларсона-Секанины. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наблюдаемая струйная структура сохраняла практически неизменную пространственную ориентацию в течение нескольких суток, несмотря на естественную эволюцию геометрии наблюдений и изменение взаимного расположения кометы, Земли и Солнца.

Стабильность пространственной ориентации джета позволяет предположить, что источником наблюдаемого пылевого выброса являлась локализованная активная область на поверхности ядра. Подобные структуры формируются вследствие неравномерного распределения активных участков, из которых происходит преимущественное истечение газа и пылевых частиц. В этом случае направление джета определяется сочетанием ориентации оси вращения ядра, положением активной области и геометрией наблюдений.

Особый интерес представляет сопоставление полученных результатов с опубликованными исследованиями вращательной эволюции кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák во время появления 2017 года [8 – 10]. По данным независимых наблюдений было установлено, что период вращения ядра в этот период изменялся исключительно быстро, что связывается с действием реактивных моментов, возникающих вследствие неравномерного истечения вещества с поверхности ядра [8]. Вместе с тем выполненный нами морфологический анализ не выявил существенных изменений пространственной ориентации доминирующего джета в течение рассматриваемого интервала наблюдений.

Полученный результат не противоречит современным представлениям о кометной активности [3, 4]. Изменение периода вращения ядра само по себе не

обязательно должно сопровождаться заметным изменением направления отдельного джета на коротких временных интервалах. Если основная активная область сохраняет своё положение относительно поверхности ядра, а изменение ориентации оси вращения происходит значительно медленнее, пространственная ориентация наблюдаемой струйной структуры может оставаться практически неизменной. Следовательно, устойчивость джета, установленная по нашим наблюдениям, может свидетельствовать о долговременном функционировании одной доминирующей активной области в период выполненных наблюдений.

Следует отметить, что выполненный анализ основан на наземных ПЗС-наблюдениях и отражает двумерную проекцию пространственной структуры внутренней комы на плоскость неба. Поэтому измеренные позиционные углы характеризуют видимую ориентацию джета и не позволяют непосредственно определить его пространственную геометрию. Тем не менее высокая воспроизводимость выявленной структуры на отдельных и составных изображениях подтверждает её реальное происхождение и обеспечивает надёжность полученных результатов.

Таким образом, выполненное исследование показывает, что алгоритм Ларсона-Секанины позволяет эффективно выявлять устойчивые струйные структуры внутренней комы даже при наземных наблюдениях с телескопами среднего диаметра. Полученные результаты дополняют существующие представления о пространственной организации локализованной активности кометных ядер и могут быть использованы при дальнейшем исследовании механизмов формирования джетов и их связи с вращательной динамикой комет.

Заключение (Conclusions)

В результате выполненного исследования получены следующие основные результаты.

По данным ПЗС-наблюдений, выполненных в апреле 2017 г. на телескопе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории, впервые проведён детальный морфологический анализ внутренней комы короткопериодической кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák по материалам наблюдений Института астрофизики Национальной академии наук Таджикистана.

Применение алгоритма цифровой обработки изображений Ларсона-Секанины позволило выявить устойчивую доминирующую струйную структуру (джет), не различимую на исходных ПЗС-изображениях, и проследить её эволюцию на протяжении всего периода наблюдений.

Выполнены количественные измерения позиционного угла доминирующего джета. Установлено, что в течение периода наблюдений его значения изменялись в пределах $281^\circ - 293^\circ$, при среднем значении около $287,5^\circ$.

Показано, что в течение рассматриваемого интервала наблюдений пространственная ориентация доминирующего джета оставалась практически неизменной, несмотря на известные по опубликованным данным изменения вращательного состояния ядра кометы в период появления 2017 года.

Установлено, что выявленный джет является устойчивым проявлением пылевой активности кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák в период наблюдений 2017 года.

Рецензент: Баҳромзод Р. – к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Физико-технического института имени С.У. Умарова НАНТД.

Литература

1. Kokhirova, G. I. Astrometric and Photometric Observations of Comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 at the Sanglokh International Astronomical Observatory / Kokhirova G. I., Rakhmatullaeva F. D., Buriev A. M. et al. // Planetary and Space Science. - 2020. - Vol. 181. - Article 104794. - DOI: 10.1016/j.pss.2019.104794. - EDN XZAGHU.

2. Кохирова, Г. И. Наблюдения кометы 41P/Туттля-Джакобини-Кресака в период её сближения с Землёй в астрономических обсерваториях Таджикистана / Кохирова Г.И., Буриев А.М., Хамроев У.Х. [и

др.] // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. - 2018. - Т. 61, № 7-8. - С. 620–630. - EDN MFPXOW.

3. Jewitt, D. Systematics and Consequences of Comet Nucleus Outgassing Torques. / Jewitt, D. // The Astronomical Journal. 2021. -Volume 161. -Issue 6, id.261, 12 pp.

4. Davidsson, B.J.R. Modelling the water and carbon dioxide production rates of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko / Davidsson, B.J.R., et al. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2020. -Volume 509. - Issue 2. –PP 3065-3085.

5. Larson S. M. and Sekanina Z. Coma morphology and dust-emission pattern of periodic comet Halley. I. High-resolution images taken at Mount Wilson in 1910 / Larson S. M., Sekanina Z. // The-Astronomical Journal. – 1984. – Vol. 89, No. 4. – P. 571–578.

6. Сафарзода, С. Н. Исследование активности ядра кометы C/2017 K2 (Pan-STARRS) на больших гелиоцентрических расстояниях / С. Н. Сафарзода, Д. К. Аюбов, С. К. Амиралиев // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 10-15. – DOI 10.65599/HEFA8586. – EDN AVEXCE.

7. Аюбов, Д. К. Вариация кривых блеск фотометрических параметров некоторых активных комет семейства Юпитера / Д. К. Аюбов, Х. Ф. Худжаназаров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 2(66). – С. 17-23. – EDN NAGDZW.

8. Knight M.M. The unusually rapid rotation-period evolution of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák / Knight M.M., Schleicher D.G., Farnham T.L. et al.// The Astronomical Journal. – 2017. – Vol. 155. – Article 93.

9. Bodewits, D. The extraordinary spin-down of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák. / Bodewits, D., Vincent, J.-B., Kelley, M.S.P., et al. // Nature. 2018. -Volume 553, Issue 7687, pp. 186-188 (2018).

10. Kokotanekova, R. Rotation and activity of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák. / Kokotanekova, R., Snodgrass, C., Fitzsimmons, A., et al., //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 2018, - 479, 4665–4682.

References

1. Kokhirova, G. I. Astrometric and Photometric Observations of Comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 at the Sanglokh International Astronomical Observatory / Kokhirova G. I., Rakhmatullaeva F. D., Buriev A. M. et al. // Planetary and Space Science. - 2020. - Vol. 181. - Article 104794. - DOI: 10.1016/j.pss.2019.104794. - EDN XZAGHU.

2. Kokhirova, G. I. Observations of Comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák during Its Close Approach to Earth at Astronomical Observatories in Tajikistan. / Kokhirova, G. I., Buriev, A. M., Khamroev, U. Kh., et al. // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 2018, vol. 61, nos. 7–8, pp. 620–630. EDN: MFPXOW.

3. Jewitt, D. Systematics and Consequences of Comet Nucleus Outgassing Torques. / Jewitt, D. // The Astronomical Journal. 2021. -Volume 161. -Issue 6, id.261, 12 pp.

4. Davidsson, B.J.R. Modelling the water and carbon dioxide production rates of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko / Davidsson, B.J.R., et al. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2020. -Volume 509. - Issue 2. –PP 3065-3085.

5. Larson S. M. and Sekanina Z. Coma morphology and dust-emission pattern of periodic comet Halley. I. High-resolution images taken at Mount Wilson in 1910 / Larson S. M., Sekanina Z. // The-Astronomical Journal. – 1984. – Vol. 89, No. 4. – P. 571–578.

6. Safarzoda, S. N. Investigation of the Nuclear Activity of Comet C/2017 K2 (Pan-STARRS) at Large Heliocentric Distances. / Safarzoda, S. N., Ayubov, D. K., and Amiraliev, S. K. // Polytechnic Bulletin. Series: Intelligence, Innovation, Investment, 2025, no. 4(72), pp. 10–15. DOI: 10.65599/HEFA8586. EDN: AVEXCE.

7. Ayubov, D. K. Variation of Light Curves of Photometric Parameters of Some Active Jupiter-Family Comets. / Ayubov, D. K., and Khujanazarov, Kh. F. // Polytechnic Bulletin. Series: Intelligence, Innovation, Investment, 2024, no. 2(66), pp. 17–23. EDN: NAGDZW.

8. Knight M.M. The unusually rapid rotation-period evolution of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák / Knight M.M., Schleicher D.G., Farnham T.L. et al.// The Astronomical Journal. – 2017. – Vol. 155. – Article 93.

9. Bodewits, D. The extraordinary spin-down of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák. / Bodewits, D., Vincent, J.-B., Kelley, M.S.P., et al. // Nature. 2018. -Volume 553, Issue 7687, pp. 186-188 (2018).

10. Kokotanekova, R. Rotation and activity of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák. / Kokotanekova, R., Snodgrass, C., Fitzsimmons, A., et al., //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 2018, - 479, 4665–4682.

Сведения об авторе:

Буризода Анвар Махмад, кандидат физико-математических наук, Институт астрофизики Национальной академии наук НАН Таджикистана, директор, ведущий научный сотрудник Отдел физики комет и астероидов. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9388-9747>. E-mail: anvar10@mail.ru

Маълумот оид ба муаллиф:

Бӯризода Анвар Маҳмад, номзади илмҳои физикаю математика, Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, директор, ходими пешбари илмии Шуъбаи физикаи кометаҳо ва астероидҳо. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9388-9747>. E-mail: anvar10@mail.ru

Information about the Author:

Burizoda Anvar Mahmad, Candidate of Physical and Mathematical Sciences; Director, Institute of Astrophysics, National Academy of Sciences of Tajikistan; Leading Researcher, Department of Comet and Asteroid Physics. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9388-9747>. E-mail: anvar10@mail.ru

ИНФОРМАТИКА, ТЕХНИКА И ХИСОББАРОР ВА ИДОРАКУНӢ - ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ - INFORMATICS, COMPUTER TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

УДК: 681.518.2:004.421

DOI: 10.65599/III8047

ОИД БА УСУЛӢ, АЛГОРИТМӢОИ АРЗӢБИИ САЛОӢИЯТӢОИ КАСБИИ ХАТМКУНАДАГОНИ МТОК

Х.А. Худойбердиев¹, Р.С. Яздонзода²

¹Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ
дар ш. Хучанд, Ҷумҳурии Тоҷикистон

²Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии
Тоҷикистон

Дар мақола оид ба усулҳо, алгоритмҳо ва низоми иттилоотии худкор барои пешгӯӣ ва арзёбии меъёри омодагии хатмкунандагони МТОК ба соҳаҳои касбӣ дар асоси матритсаҳои салоҳияти касбӣ суҳан меравад. Низоми таҳияшуда аз маҷмӯи модулҳои барномавӣ ва алгоритмҳои таҳлилии иборат мебошад, ки барои автоматикунони мониторинги сифати таълим ва пешгӯии бомуваффақият бо кор таъмин шудани хатмкунандагони МТОК тарҳрезӣ карда шудааст. Низоми иттилоотӣ барои истифода дар экосистемаи иттилоотии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ тарҳрезӣ шудааст, ки дар лоираи таҳқиқот маҷмӯи додаҳои се самти техникӣ; энергетика, нақлиёт ва сохтмонро мавриди таҳлил қарор дода шудаанд. Дар асоси таҳлили сохтори низоми иттилоотӣ, ҷунин бартариҳои асосӣ ба назар мерасанд: рақамикунонӣ ва таҳлили математикӣ дониши хатмкунандагони МТОК барои арзёбии соҳиб шудани онҳо ба салоҳиятҳои касбӣ; ташаккули “симои рақамӣ”-и динамикии хатмкунанда дар асоси таҳлили қобилияти касбӣ, хусусиятҳои рақамӣ ва тасвир қардани дониш ва малакаи хатмкунанда дар бозори меҳнат; ташкили рейтингҳои худкори натиҷаҳои таълим ва баҳоидиҳои самтҳои мақсадноки фаъолияти хатмкунанда аз рӯи тартиби камшавии ғоиз, ки барои пешгӯии фаврӣ, арзёбӣ ва тавсияи пешниҳод карда шудааст.

Калидвожаҳо: амсилаи математикӣ, усулҳои арзёбӣ, алгоритмҳои пешгӯӣ, матритсаи салоҳият, соҳаҳои фаъолияти касбӣ, манбаи додаҳо, веб-барномасозӣ, низоми иттилоотӣ, экосистемаи донишгоҳ.

О МЕТОДАХ И АЛГОРИТМАХ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ

Х.А. Худойбердиев¹, Р.С. Яздонзода²

¹Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С.
Осими в Худжанде, Республика Таджикистан

²Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика
Таджикистан

В статье рассматриваются методы, алгоритмы и автоматизированная информационная система для прогнозирования и оценки уровня готовности выпускников вузов к профессиональной деятельности на основе матриц профессиональной компетентности. Разработанная информационная система состоит из комплексов программных модулей и аналитических алгоритмов, предназначенных для автоматизации мониторинга качества образования и прогнозирования успешного трудоустройства выпускников. Информационная система предназначена для использования в информационной экосистеме Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими, которая в рамках исследовательского проекта анализировала наборы данных из трех технических областей: энергетики, транспорта и строительства. Анализ логической структуры информационной системы позволяет выделить следующие основные преимущества: цифровое преобразование и математический анализ знаний выпускников высших учебных заведений на примере технических направлений для оценки приобретения ими профессиональных компетенций; формирование динамического «цифрового портрета» выпускника на основе анализа профессиональных способностей, цифровых параметров для описания знаний и навыков выпускника на рынке труда; создание автоматической оценки результатов обучения и определения целевых направлений деятельности выпускника в порядке убывания процентного соотношения, что обеспечивает возможность оперативного прогнозирования, оценки и предложения рекомендаций.

Ключевые слова: математическая модель, методы оценки, алгоритмы прогнозирования, матрица компетенций, области профессиональной деятельности, база данных, веб-программирование, информационная система, экосистема университета.

ON METHODS AND ALGORITHMS FOR ASSESSING THE PROFESSIONAL COMPETENCIES OF UNIVERSITY GRADUATES

Kh.A. Khudoyberdiev¹, R.S. Yazdonzoda²

¹Polytechnic institute of the Tajik technical university named after academician M.S. Osimi in
Khujand, Republic of Tajikistan

²Tajik technical university named after academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

The article discusses methods, algorithms and an automated information system for predicting and assessing the level of readiness of university graduates for professional fields based on professional competency matrices. The developed system consists of a set of software modules and analytical algorithms designed to automate monitoring of the quality of education and predicting the successful employment of university graduates. The information system is designed for use in the Tajik Technical university by named academician M.S.Osimi information ecosystem, which in the research project has been analyzed datasets from three technical areas: energy, transport and construction. An analysis of the logical structure of

the information system reveals the following key advantages: digitalization and mathematical analysis of the knowledge of university graduates to assess their acquisition of professional competencies; the creation of a dynamic "digital portrait" of the graduate based on an analysis of professional abilities and digital parameters to describe the graduate's knowledge and skills in the labor market; the creation of an automatic assessment of learning outcomes and the determination of target areas of graduate activity in descending percentage order, which enables rapid forecasting, evaluation, and the provision of recommendations.

Keywords: *mathematical model, assessing methods, predictive algorithms, competency matrix, professional areas, data bases, web programming, information system, university ecosystem.*

Муқаддима (Introduction)

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар оморасозии мутахассисони соҳаи техникӣ саҳми беназири худро мегузорад ва ҳамчун маркази бонуфузи илмӣ маърифатӣ тамоми комёбиҳои даврони Истиқлолиятро инъикос мекунад. Татбиқи технологияҳои нави иттилоотӣ коммуникатсионӣ дар раванди таълим ва алаҳусус дар равандҳои идоракунии донишгоҳ қарордодҳои рақобатпазирӣ ва болоравии сифати таҳсилотро таъмин менамояд.

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар ҷорӣ намудани технологияҳои инноватсионӣ доимо пешқадам мебошад. Маҳз дар ҳамин раванд Раёсати "Технологияҳои рақамӣ ва рушди инноватсионӣ" фаъолият мебарорад, ки он дар заминаи панҷ шӯъбаи махсусгардонидашуда амал мекунад:

- маркази рақамикунории раванди таълим;
- шӯъбаи барномасозӣ;
- бахши таҳлил ва рушди стратегӣ;
- маркази технологияҳои рақамӣ ва коммуникатсионӣ;
- шӯъбаи таъмин ва назорати воситаҳои техникӣ.

Вазифаи асосии раёсат аз қоркард ва амалӣ намудани платформаҳои гуногун, зерсохтори барномавӣ бо мақсади таъмини сифати самарабахш дар идораи субъекти асосии раванди таълим, яъне донишҷӯён иборат аст. «Дар ин раванд якҷанд платформаҳои дар доираи таҳқиқоти илмӣ ба даст оварда, ба монади TTU-AI-Dovtalab ва TTU-AI-Donishju дар заминаи низоми ягонаи идораи донишгоҳ ба истифода дода шудаанд» [1, 2].

Дар мақолаи мазкур оид ба низоми TTU-AI-Khatmkunanda, ки раванди арзёбӣ, баҳодихӣ ва пешгуи бо қор таъмин шудани хатмкунандагони ихтисосҳои техникӣ сухан меравад. Раванди таҳқиқот дар асоси натиҷаҳои фанҳои таҳассусӣ ва салоҳиятҳои соҳибшудаи хатмкунанда, инчунин арзёбии онҳо ба соҳаҳои гуногуни фаъолияти касбӣ ба роҳ монда шудааст. Мақсад, вазифа ва арзиши назариявӣ амалии таҳқиқот ин рақамикунории раванди таълим дар МТОК бо истифод аз технологияҳои муосири зеҳни сунӣ ва омӯзиши мошинӣ ба ҳисоб меравад.

Мавод ва усулҳо (Material and methods)

Дар доираи таҳқиқот манбаи додаҳои қалон аз низоми ягонаи идоракунии донишгоҳ мавриди истифода қарор дода шудаанд. Мақсади асосии таҳқиқоти илмӣ ин таҳлил ва баҳодихии дастовардҳои донишҷӯён ихтисосҳои техникӣ мебошад. Аз ин рӯ, дар раванди қоркарди низоми TTU-AI-Khatmkunanda маълумоти танҳо се факултет ба инобат гирифта шудаанд:

- Факултети энергетикӣ, дар зинаи *бакалавриат* аз рӯи 13 ихтисос ва дар зинаи *магистратура* аз рӯи 10 ихтисос мутахассисон омода карда мешаванд.
- Факултети нақлиёт ва инфрасохтори роҳ, дар зинаи *бакалавриат* аз рӯи 19 ихтисос ва дар зинаи *магистратура* аз рӯи 3 ихтисос мутахассисон омода карда мешаванд.
- Факултети сохтмон ва меъморӣ, дар зинаи *бакалавриат* аз рӯи 14 ихтисос ва дар зинаи *магистратура* аз рӯи 7 ихтисос мутахассисон омода карда мешаванд.

Дар раванди фаъолияти садорати ҳар як факултет масъалаи арзёбии соҳибшудани хатмкунандагон бо салоҳиятҳои таҳассусӣ ва баҳодихии омодагии онҳо дар соҳаҳои касбии фаъолият бо истифода аз усулҳои анъанавӣ гуногун ба роҳ монда шудаанд. Бо мақсади ба таври худқор ва истифода аз воситаҳои муосири

технологияҳои иттилотии зарурияти коркади низоми иттилоотии арзёбии салоҳиятҳои хатмкунандаи донишгоҳ ва пешгӯии омодагии онҳо барои соҳаҳои фаъолият ба миён меояд.

Низоми худкор барои пешгӯӣ ва арзёбии меъёри омодагии хатмкунандагони МТОК ба соҳаҳои касбӣ дар асоси матритсаҳои салоҳияти касбӣ коркард ва пешниҳод карда мешавад. Низоми таҳияшуда аз маҷмуи модулҳои барномавӣ ва алгоритмҳои таҳлилӣ иборат мебошад, ки барои автоматикунони мониторинги сифати таълим ва пешгӯии бо муваффақият бо кор таъмин шудани хатмкунандагони МТОК тарҳрезӣ карда мешавад.

Усулҳои арзёбӣ дар муассисаҳои таълимии олии касбии давлатҳои хориҷӣ

Бо мақсади таҳлил ва муқоисаи усулҳои пешрафта дар раванди арзёбии салоҳиятҳои хатмкунандагон якҷанд таҳқиқоти назариявӣ ва амалӣ баррасӣ карда шудаанд. Ҳар як таҳқиқот манбаи додаҳои гуногун ва усулҳои аз ҳамдигар куллан фарқкунандаро истифода кардаанд.

Дар таҳқиқоти [3] таҳлили муқоисавии худбаҳодиҳии салоҳияти касбӣ дар байни хатмкунандагони донишгоҳҳои Русия ва Қазоқистон як қатор фарқиятҳои байнидавлатӣ таҳқиқ карда шудаанд. Масъалаи баҳодиҳии хатмкунандагоне, ки таҷрибаи корӣ надоранд ва мутобиқшавии онҳо ба бозори меҳнат таҳлил карда шудаанд. «Натиҷаи таҳқиқот тафовути соҳаҳои таҳсилро низ инъикос менамояд, яъне дар Русия хатмкунандагон дар соҳаҳои техникӣ ба дониши худ баландтар баҳо медиҳанд ва дар Қазоқистон дар ихтисосҳои гуманитарӣ дар худбаҳодиҳӣ пешсафанд». Ин натиҷаҳо дар асоси истифодаи усулҳои омори математикӣ ва таҳлили амиқ ба даст оварда шудаанд.

Таҳқиқоти дигар оид ба усулҳо ва воситаҳои ҷамъовари маълумот дар раванди арзёбии салоҳиятҳои хатмкунандагон равона карда шудааст. Бар асоси таҳлил муайян гашт, ки шаклҳои гуногуни ташхиси салоҳияти хатмкунанда бо истифода аз мусоҳиба, санҷиш ва сертификатсия, арзёбии мушаххас аз тарафи коршиносон, усулҳои қабули қарор, усули муқоисавӣ, пурсишномаҳои махсуси касбӣ самарани назаррасро ба даст меорад. «Натиҷаҳои таҳқиқот масъалаи ҷамъовари маълумот оид ба салоҳияти хатмкунанда ва коркард бо истифодаи усулҳои таҳлили омории ҳаллу фасл менамоянд» [4].

Дар таҳқиқоти [5] амсилаи математикии робитаи байни салоҳиятҳои хатмкунанда бо фанҳои таҳассусӣ ва усули худкори таҳияи самтҳои фаъолияти касбӣ пешниҳод карда шудааст. Усулҳои арзёбии миқдории салоҳиятҳои касбӣ ва ташаккули салоҳиятҳои махсуси хатмкунанда бо соҳаҳои фаъолиятҳои корӣ мувофиқат карда шудаанд. Дар натиҷаи таҳқиқот маҷмуи таъминоти барномавӣ барои арзёбии салоҳияти хатмкунандагон таҳия шудааст. «Имконияти асосии модулҳои барномавӣ барои мониторинги фаъолияти таълимӣ, ба касбҳои махсус тақсим намудани хатмкунандагон ва амсиласозии сохторӣ-мантиқии фанҳо равона карда шудаанд».

Натиҷаи лоиҳаи байналхалқӣ, ки дар он шумораи зиёди олимони аз давлатҳои аврупоӣ иштирок намудаан, масъалаи ҳамоҳангсозии салоҳиятҳои хатмкунандагони муассисаҳои таълимии олӣ бо омилҳои иқтисодӣ баррасӣ карда шудаанд. Инчунин оид ба арзёбии салоҳиятҳои касбӣ ва равандҳои таълими фанҳои таҳассусӣ ҳалли худро ёфтааст. «Дар асоси усулҳои математикӣ ва компютерӣ шумораи зиёди маълумоти хатмкунандагони зинаи бакалавриат коркард шуда, марҳилаи банақшагирӣ ва рушди салоҳиятҳои дар зинаи магистратура пешниҳод карда шудаанд» [6].

Дар таҳқиқоти [7] амсилаи ба салоҳият равонашуда пешниҳод шудааст, ки таҳияи талаботи асосиро барои рушди салоҳияти хатмкунанда ва арзёбии натиҷаҳои раванди таълим фароҳам меорад. Дар асоси таҳқиқот миқдори зиёди салоҳиятҳо барои хатмкунандагон барои ба даст овардани натиҷаҳои назаррас дар ҷои корӣ муҳиманд, муайян ва пешниҳод карда шудаанд. Модулҳои барномавӣ ва усулҳои муосири коркарди додаҳои ҳаҷман калон барои худбаҳодиҳии хатмкунандагон ва арзёбии натиҷаҳои касбии онҳо баррасӣ карда шудаанд. «Ҷиҳати мусбии лоиҳа бо муқоиса бо дигар таҳқиқот дар он аст, ки раванди арзёбии салоҳияти хатмкунанда дар тамоми семестрҳо ва солҳои таҳсил равона карда мешавад».

Масъали муайян кардани сатҳи салоҳияти касбии хатмкунанда дар асоси баҳоҳои дар раванди таҳсил гирифташуда, дар таҳқиқоти навбатӣ муҳокима карда шудааст. Дар ин маврид марҳилаҳои муайян кардани сатҳи маҳорат аз рӯи давраҳои таълимӣ ва муайян кардани сатҳи салоҳияти хатмкунанда дар соли хатм ба тариқи муқоисавӣ таҳлил карда мешаванд. Усулҳои коркардшуда барои арзёбии миқдории қарорҳои қабулшуда бо тавсифи сифатии онҳо имконият медиҳанд. «Сохтори низоми иттилоотӣ дар асоси вобастагии арзёбии салоҳияти кушод ва салоҳияти пинҳон тавсиф карда мешавад» [8].

Усулҳои арзёбии салоҳиятҳои хатмкунандагон дар TTU-AI-Khatmkunanda

Низоми иттилоотӣ бо худ як воситаи зеҳни сунъиро барои табдили думарҳилавии натиҷаҳои таълимии хатмкунандагон ба нишондиҳандаҳои бозори меҳнат амалӣ месозад. Сохтори мантиқии низом аз се модули асосӣ иборат аст: модули ҷамъоварии маълумот ва коркарди ибтидоии он барои ворид кардани рӯйхати донишҷӯён бо баҳоҳои ҷамъаастии фанҳои таҳассусӣ (транскрипт); модули таҳлилий барои муқоисаи ҳудудҳои баҳоҳои дар давоми таҳсил бадастовардаи хатмкунанда бо матритсаи салоҳияти касбӣ; модули пешгӯӣ барои мувофиқ кардани салоҳиятҳои донишҷӯён бо талаботи бозори меҳнат дар асоси соҳаҳои фаъолият.

Низом як қисми сарбаст барои таҳлили фаъолияти таълимии хатмкунандагон, арзёбии салоҳиятҳои онҳо ва пешгӯии роҳҳои мувофи таълимӣ ва касбӣ коркард карда шудааст. "Симои рақамӣ"-и хатмкунанда дар асоси фаъолияти таълимӣ, натиҷаҳои имтиҳонҳо, салоҳиятҳои касбӣ ва талабот ба бозори меҳнат ташаккул дода мешавад. Арзёбии салоҳияти хатмкунанда бо дараҷабандии мутобиқати ӯ ба соҳаҳои гуногуни фаъолият муайян карда мешавад. Дар ин маврид, ба таври ҳудудкор, масъалаи баҳодиҳии сатҳи малака, пешгӯӣ дар соҳиб шудан ба касб ва тавсия барои рушди минбаъдаи хатмкунанда ҳалли ҳудудкор ёфтаанд.

Низоми иттилоотӣ дар асоси усулҳо ва амсилаҳои математикӣ коркард шуда, сохтори функционалии он аз панҷ марҳилаҳои асосӣ иборат мебошад (нигаред ба расми 1).



Расми 1 – Сохтори функционалии низоми TTU-AI-Khatmkunanda
Figure 1 – Functional Architecture of the TTU-AI-Khatmkunanda System

Дар раванди коркард низоми иттилоотӣ бо ҳамчоягӣ бо низоми ягонаи идораи раванди таҳсил дар донишгоҳ чунин додаҳои асосиро истифода мебарад:

- рӯйхати фанҳои тахассусӣ аз стандарт ва барномаи таълимии ихтисос;
- салоҳиятҳои касбӣ бо пешниҳоди мутахассисони соҳа;
- самти фаъолияти хатмкунанда аз рӯйи ихтисос;
- транскрипти хатмкунанда баҳои фанҳои тахассусӣ.

Маълумот дар бораи хатмкунанда: дастовардҳои таълимӣ аз рӯйи фанҳои тахассусӣ; натиҷаҳои санҷиш ва имтиҳонҳо. Сохтори намунавии маълумот дар ҷадвали 1 оварда шудааст.

Ҷадвали 1 – Сохтори барои гуруҳи донишҷӯёни ихтисос

Table 1 – Structure of Student Groups by Specialization

Ихтисос	Фанни 1	Фанни 2	...	Фанни М
Донишҷӯ 1	57	73	...	51
Донишҷӯ 2	71	66	...	61
...	...	...	...	...
Донишҷӯ N	66	62	...	95

Матритсаи салоҳиятҳо: рӯйхати салоҳиятҳо; вазнҳои нишондиҳандаҳо; робитаи байни фанҳо ва салоҳиятҳо. Матритса бо чунин қиматҳо муайян карда мешавад: 0 – фанни таҳсил карда, донишҷӯро бо салоҳият таъмин намекунад, 1 – фанни таҳсил карда, донишҷӯро танҳо бо салоҳияти назариявӣ таъмин мекунад, 2 – фанни таҳсил карда, донишҷӯро бо салоҳияти назариявӣ ва амалӣ таъмин мекунад (нигаред ба ҷадвали 2).

Ҷадвали 2 – Ҳамбастагии фанҳо ва салоҳиятҳои хатмкунандагони як ихтисос

Table 2 – Relationship Between Academic Courses and Graduate Competencies in a Specialization

Матритсаи салоҳият	Салоҳияти 1	Салоҳияти 2	...	Салоҳияти К
Фанни 1	1	1	...	1
Фанни 2	2	0	...	0
...	...	...	...	...
Фанни М	2	2	...	1

Баҳодиҳии сатҳи салоҳият. Дар асоси маълумоти бадастомада ва омилҳои вазнӣ, $C_{i,k}$ сатҳи салоҳияти донишҷӯ бо истифодаи амсилаи математикии зерин ҳисоб карда мешавад.

$$C_{i,k} = \frac{\sum_{j=1}^m (S_{i,j} * d_j)}{100 * \sum_{j=1}^m d_j} \quad (1)$$

дар ин ҷо,

$S_{i,j}$ – қимати сатҳи салоҳияти j мувофиқи фанни i ;

d_j – вазни салоҳияти j .

Матрисаи талаботи бозори меҳнат ба самтҳои фаъолият: талаботи салоҳият барои самти фаъолияти гуногун; арзишҳои ҳадафи салоҳият. Дар ин маврид, матрица бо чунин қиматҳо муайян карда мешавад: 0 – доштани салоҳият дар ин самти фаъолият ба хатмкунанда зарурӣ надорад, 1 – доштани салоҳият дар ин самти фаъолият ба хатмкунанда ҳатмӣ мебошад (нигаред ба ҷадвали 3).

Ҷадвали 3 – Сохтори барои гуруҳи донишҷӯёни ихтисос

Table 3 – Data Structure for Student Groups by Specialization

Матрисаи талаботи бозори меҳнат	Салоҳияти 1	Салоҳияти 2	...	Салоҳияти R
Самти фаъолияти 1	0	1	...	0
Самти фаъолияти 2	1	1	...	0
...	...	...	...	...
Самти фаъолияти S	1	1	...	1

Низоми иттилоотӣ дархости пешгӯиро қабул мекунад ва сипас маълумоти хатмкунандаро аз рӯи сатҳи таҳсил, баҳои имтиҳонҳо ҳам мекунад. Маълумот аз ҷиҳати пуррагӣ ва дақиқӣ тафтиш карда мешавад. Дар сурати тасдиқ, он пешакӣ коркард мешавад ва матритсаи салоҳиятҳо омода карда мешавад.

Арзёбии ҳамоҳангсозии самти фаъолият бо сатҳи салоҳияти хатмкунанда. Дар асоси амсилаи математикӣ барои ҳар як вектори таълимӣ, ки дар транскрипти хатмкунанда ифода шудааст, “симои рақамӣ” $P_{i,l}$ дараҷаи ҳамоҳангсозӣ вобаста аз салоҳият ва самти фаъолият ҳисоб карда мешавад.

$$P_{i,l} = \frac{\sum_{k=1}^K (C_{i,k} * A_{i,k})}{\sum_{k=1}^K A_{i,k}} * 100\% \quad (2)$$

дар ин ҷо,

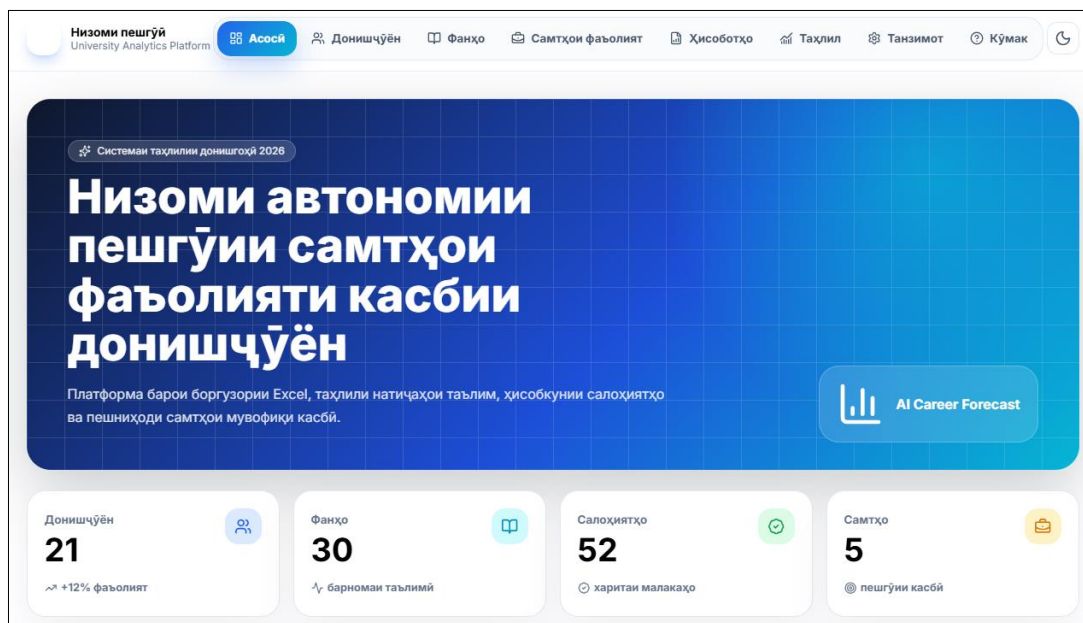
$C_{i,k}$ – қимати сатҳи салоҳияти j барои донишҷӯи k ;

$A_{i,k}$ – қимати арзёбӣ ба самти фаъолияти l барои донишҷӯи k .

Пешниҳоди тавсияҳо. Ҳамаи самтҳои фаъолият аз рӯи нишондиҳандаҳои мувофиқ аз рӯи камшавӣ ҷобаҷо карда мешаванд. Агар нишондиҳандаи мувофиқати ҳадди аксар аз ҳадди муқарраршуда пасттар бошад, он гоҳ низом тавсияҳои фардӣ барои рушди салоҳиятҳои зарурӣ ба хатмкунанда пешгӯӣ ва тавсия мекунад. Дар асоси натиҷаҳои таҳлил, “симои рақамӣ”-и хатмкунанда тартиб дода мешавад, ки аз салоҳиятҳои тавсияшудаи раванди таҳсил, соҳаҳои мувофиқи фаъолият ва тавсияҳо барои рушди касбии ӯ иборат мебошад. Дар умум, арзишҳои бадастомада мутобиқати хатмкунандаро ба талаботи ихтисоси мушаххас ва бозори меҳнат тавсиф мекунад.

Истифодаи амалии низоми иттилоотӣ

Интерфейси низоми иттилоотӣ бо истифода аз технологияҳои муосири веб-барномасозӣ (забони барномасозии Golang) ва манбаи додаҳои релятсионӣ (СИМД MySQL) фаҳмо ва интерактивӣ коркард карда шудааст.



Расми 2 – Саҳифаи асосии низоми TTU-AI-Khatmkunanda
Figure 2 – Main Interface of the TTU-AI-Khatmkunanda System

Тадқиқоти амалӣ нишон дод, ки истифодаи TTU-AI-Khatmkunanda мутобиқати хатмкунандагон ба ихтисосҳои техникӣ ба таври худкор ва бо дақиқии баланд арзёбӣ карда мешаванд. Низоми коркардшуда на танҳо ба хатмкунандагон дар интиҳоби ҷойи корӣ кўмак мерасонад, балки ба шуъбаҳои махсуси донишгоҳ барои баланд бардоштани сифати барномаҳои таълимӣ ва таъмини воқеии бозори меҳнат бо мутахассисони баландихтисос имконият медиҳад.

Бо назардошти гуфтаҳои боло, низоми иттилоотӣ дар Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ барои арзёбии хатмкунандагони факултетҳои нақлиёт ва инфрасохтори роҳ, сохтмон ва меъморӣ ва энергетика мавриди истифода ва ташхис қарор дода шуд. Барои гузаронидани марҳилаи санҷишӣ аз низоми иттилоотии донишгоҳ чунин маълумот ба даст оварда шуданд.

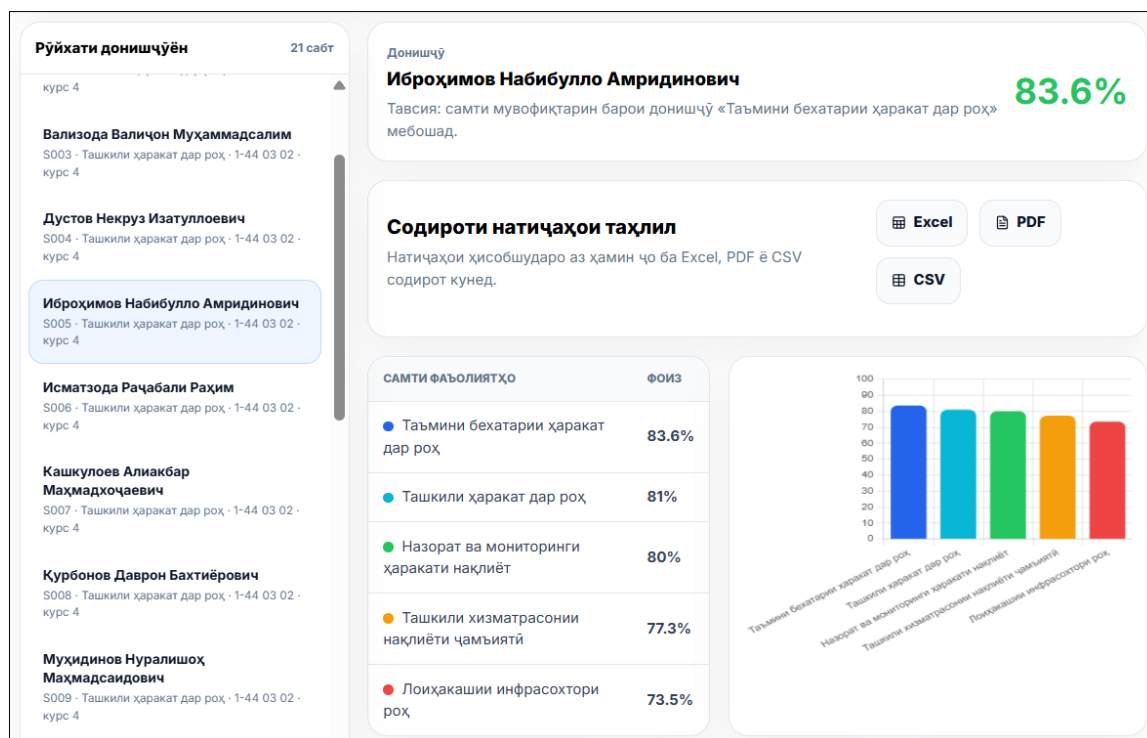
Ҷадвали 4 – Маҷмуи додаҳо барои арзёбии салоҳиятҳои касбии хатмкунанадгон

Table 4 – Dataset for Assessing the Professional Competencies of Graduates

№	Факултет	Ихтисос	Миқдори хатмкунанда	Миқдори фан	Миқдори салоҳият	Миқдори самти фаҳолият
1	Энергетика	1-43 01 01 - Неругоҳҳои барқӣ	84	30	39	6
2	Нақлиёт ва инфрасохтори роҳ	1-44 03 02 - Ташкили ҳаракат дар роҳ	21	30	52	5
3	Сохтмон ва меъморӣ	1-70 02 01 - Сохтмони саноатӣ ва шаҳрвандӣ	88	30	52	5

Дар натиҷаи истифодаи амалии низоми иттилоотӣ муайян гашт, ки хатмкунандагони ихтисоси самти энергетика ба ҳисоби миёнаи нисбӣ аз 61.5% то 76.3%, самти нақлиёт ба ҳисоби миёнаи нисбӣ аз 65.7% то 81.6% ва самти сохтмон ба ҳисоби миёнаи нисбӣ аз 62.4% то 79.4% ба бозори меҳнат омода мебошанд.

Дар расми 3 натиҷаи истифодаи амалии низоми иттилоотӣ барои гуруҳи хатмкунандагони самти нақлиёт оварда шудааст.



Расми 3 – Раванди таҳлили натиҷаҳо дар мисоли ихтисоси “Ташкили ҳаракат дар роҳ”
Figure 3 – Results Analysis Process: A Case Study of the "Road Traffic Organization" Specialization

Ҳаминро бояд қайд кард, ки натиҷаҳои ба даст оварда танҳо хусусиятҳои тавсифӣ ва арзёбии нисбӣ доранд. Зеро дар раванди таҳқиқот танҳо баҳоҳои ҷамъбастии фанҳои тахассусӣ мавриди таҳлил ва ташхис истифода карда шудаанд. Дониши амиқ ва малакаи амалии ҳар як хатмкунанда бо назардошти натиҷаҳои

таҷрибаомӯзӣ ва ҳимояи кори тахассусии хатми онҳо баҳои баланди арзёбии салоҳияти касбии онҳо шуда метавонанд. Новобаста аз ин, амсилаҳои математикӣ, усулҳо ва алгоритмҳои дар раванди таҳқиқоти илмӣ таҳия шуда, барои коркарди низоми иттилоотии арзёбии динамикии салоҳияти хатмкунанда TTU-AI-Khatmkunanda ҳам заминаи назариявӣ ва ҳам амалӣ мебошанд.

Хулоса (Conclusion)

Низоми иттилоотии TTU-AI-Khatmkunanda аз марҳилаҳои ҷамъоварӣ, нигоҳдорӣ, таҳлили оморӣ ва пешгуи фаъолияти таълимии хатмкунандагон иборат мебошад ва бо манбаи додаҳои таълимии дохилии МТОК ҳамчун шуда метавонад. Ин низом барои муассисаҳои таълимӣ дар раванди пешгуи, арзёбӣ ва таҳлили оморасозии кадрҳо ва дастгирии қабули қарорҳо дар таъмини кадрӣ воситаи асосӣ шуда метавонад [10].

Низоми иттилоотӣ дар натиҷаи таҳқиқоти илмӣ барои гирифтани дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ дар мавзӯи “Усулҳо, алгоритмҳо ва таъминоти барномавӣ барои пешгуи фаъолияти донишҷӯён дар МТОК-и техникӣ” дар кафедраи системаҳои автоматикунонидашудаи идоракуни дар Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ гузаронида шудааст, коркард қарад шудааст.

Муқаррир: Ҳасанов Ҷ.Р. – н.и.т., дотсенти кафедраи технологияҳои иттилоотӣ ва иқтисоди рақамии ДИТҶС, ДБСҶП.

Адабиёт

1. Худойбердиев Х.А., Яздонкулов Р.С. Таҳлилҳои муқоисавии усулҳои омӯзиши мошинӣ барои пешгуи дохилшавӣ ба МТОК. Паёми Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон. Баҳши: Технологияҳои иттилоотӣ ва инноватсионӣ. -2026. - №1 (64). - С. 125-134.
2. Атаева Ф.С., Яздонкулов Р.С. Концептуальная модель информационно-образовательной среды технического вуза. Наука и инновация. Серия геологических и технических наук (ТНУ). - 2026. - № 1. - С. 120-127.
3. Монтаев А. Б. Особенности самооценки профессиональной компетентности вузовских выпускников России и Казахстана: сравнительный анализ //Общественные науки: вопросы и тенденции развития. – 2014. – С. 29-31.
4. Пиралова, О. Ф. Система диагностики инженерной компетентности выпускников технических вузов / О. Ф. Пиралова // Высшее образование сегодня. – 2010. – № 6. – С. 26-29. – EDN MUESWN.
5. Курилова Оксана Леонидовна, Смагин Алексей Аркадьевич, Липатова Светлана Валерьевна, Курилов Федор Михайлович Мониторинг компетентности выпускников вуза // Вестник НГИЭИ. 2016. №6 (61). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-kompetentnosti-vypusnikov-vuza> (дата обращения: 07.07.2026).
6. Suleman, F. The employability skills of higher education graduates: insights into conceptual frameworks and methodological options. High Educ 76, 263–278 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10734-017-0207-0>
7. Berdrow, I., & Evers, F. T. (2010). Bases of competence: an instrument for self and institutional assessment. Assessment & Evaluation in Higher Education, 35(4), 419–434. <https://doi.org/10.1080/02602930902862842>
8. Shtymak A., Mulesa P., Malyar M. Procedure for Determination of Professional Competence of a Higher Education Institution Graduate //2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). – IEEE, 2020. – С. 460-463.
9. Яздонкулов Р.С. Шаҳодатнома (Свидетельство) № 356. Барномаи компютери “Арзёбии салоҳиятҳои хатмкунандаи донишгоҳ ва пешгуи омодагии ӯ барои соҳаҳои фаъолият” / Х. А. Худойбердиев, Р.С. Яздонкулов, А.А. Иброгимов; Авторское право на произведения науки. - Зарегистрировано 06.08.2026.

References

1. Khudoyberdiev, Kh. A. Comparative Analysis of Machine Learning Methods for Predicting Admission to Technical Higher Education Institutions / Kh. A. Khudoyberdiev, R. S. Yazdonkulov // Bulletin of the Technological University of Tajikistan. Series: Information Technologies and Innovations. – 2026. – No. 1(64). – P. 125–134.
2. Ataeva, F. S. Conceptual Model of the Information and Educational Environment of a Technical University / F. S. Ataeva, R. S. Yazdonkulov // Science and Innovation. Series of Geological and Technical Sciences (Tajik National University). – 2026. – No. 1. – P. 120–127.

3. Montaev, A. B. Features of Self-Assessment of Professional Competence of University Graduates in Russia and Kazakhstan: A Comparative Analysis / A. B. Montaev // Social Sciences: Issues and Development Trends. – 2014. – P. 29–31.
4. Piralova, O. F. System for Diagnosing the Engineering Competence of Technical University Graduates / O. F. Piralova // Higher Education Today. – 2010. – No. 6. – P. 26–29.
5. Kurilova, O. L. Monitoring the Competence of University Graduates / O. L. Kurilova, A. A. Smagin, S. V. Lipatova, F. M. Kurilov // Vestnik NGIEI. – 2016. – No. 6. – P. 61. – Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-kompetentnosti-vypusnikov-vuza> (accessed: 07.07.2026).
6. Suleman, F. The Employability Skills of Higher Education Graduates: Insights into Conceptual Frameworks and Methodological Options / F. Suleman // Higher Education. – 2018. – Vol. 76. – P. 263–278. – DOI: 10.1007/s10734-017-0207-0.
7. Berdrow, I. Bases of Competence: An Instrument for Self and Institutional Assessment / I. Berdrow, F. T. Evers // Assessment & Evaluation in Higher Education. – 2010. – Vol. 35, No. 4. – P. 419–434. – DOI: 10.1080/02602930902862842.
8. Shtymak, A. Procedure for Determination of Professional Competence of a Higher Education Institution Graduate / A. Shtymak, P. Mulesa, M. Malyar // Proceedings of the 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). – IEEE, 2020. – P. 460–463.
9. Yazdonkulov, R. S. Computer Program Assessment of University Graduate Competencies and Prediction of Their Readiness for Professional Activities: Certificate No. 356 / R. S. Yazdonkulov, Kh. A. Khudoyberdiev, A. A. Ibrogimov. – Copyright Registration of Scientific Works. – Registered on August 6, 2026.

Маълумот оид ба муаллифон:

Худойбердиев Хуршед Атохонович, доктори илмҳои техники, дотсент, и.в. профессори кафедраи барномарезӣ ва низомҳои иттилоотӣ, Донишкадаи политехникии ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ дар шаҳри Хучанд. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6541-4177>. E-mail: tajlingvo@gmail.com

Яздонзода Раҳматҷон Соҳибҷон, унвонҷӯи дараҷаи илмӣ, унвонҷӯи кафедраи системаҳои автоматикунонидашудаи идорақунӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикситтон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7082-0183>. Email: rahmatjon87@gmail.com

Сведения об авторах:

Худойбердиев Хуршед Атохонович, доктор технических наук, доцент, и.о. профессор кафедры программирования и информационных систем, Политехнический институт ТТУ имени академика М.С. Осими в городе Худжанде. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6541-4177>. E-mail: tajlingvo@gmail.com

Яздонзода Раҳматҷон Соҳибҷон, соискатель ученой степени, соискатель кафедры автоматизированные системы управления, Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7082-0183>. Email: rahmatjon87@gmail.com

Information about the authors:

Khudoyberdiev Khurshed Atokhonovich, doctor of technical sciences, acting professor of the department of programming and information systems, Polytechnic Institute of TTU named after academician M.S. Osimi in Khujand. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6541-4177>. E-mail: tajlingvo@gmail.com

Yazdonzoda Rahmatjon Sohibjon, degree candidate, department of automated control systems Tajik technic university named after academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7082-0183>. E-mail: rahmatjon87@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВС

Ш.Ш. Зияев, Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов

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

В статье рассматривается вопрос повышения эффективности управления температурным режимом дизельного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в условиях динамических нагрузок. Авторами выявлены недостатки классических ПИД-регуляторов, связанные с высокой инерционностью и нелинейностью тепловых процессов объекта. В качестве решения предложена адаптивная нейро-нечеткая система управления (ANFIS), сочетающая в себе гибкость нечеткой логики и обучаемость нейронных сетей. В ходе исследования разработана математическая модель системы охлаждения и синтезирован алгоритм настройки функций принадлежности на основе гибридного метода обучения. Сравнительный анализ результатов моделирования показал, что применение нейро-нечеткого контроллера позволяет сократить время выхода на рабочий температурный режим и минимизировать амплитуду температурных колебаний при скачкообразном изменении нагрузки. Полученные результаты могут быть использованы при разработке перспективных микропроцессорных систем управления электронного блока управления для улучшения топливной экономичности и увеличения ресурса силовых агрегатов.

Ключевые слова: дизельный ДВС, система охлаждения, нейро-нечеткая логика, ANFIS, адаптивное управление, стабилизация температуры, математическое моделирование.

ТАТБИҚИ МАНТИҚИ НЕЙРО-НОАНИҚ БАРОИ ИСТИҚРОР КАРДАНИ СИСТЕМАИ ХУНУККУНИИ МДС ДИЗЕЛӢ

Ш.Ш. Зиёев, Н.И. Юнусов, У.Х. Ҷалолов

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

Ин мақола масъалаи баланд бардоштани самаранокии идоракунии гармиро дар муҳаррики дарунсӯзи дизелӣ таҳти борҳои динамикии баррасӣ мекунад. Муаллифон камбудии контроллерҳои анъанавии PID-ро, ки бо инерсияи баланд ва ғайрихаттии равандҳои гармӣ дар объект алоқаманданд, муайян карданд. Ҳамчун роҳи ҳал, системаи идоракунии нейро-ноаниқ (ANFIS) пешниҳод карда мешавад, ки нармии мантиқи ноаниқ ва қобиляти омӯхтани шабакаҳои нейрониро муттаҳид мекунад. Ин тадқиқот таҳияи модели математикӣ системаи хунуккунӣ ва синтези алгоритми танзими функсияҳои мансубият дар асоси усули омӯзиши гибридӣ дар бар мегирад. Таҳлили муқоисавии натиҷаҳои симулятсия нишон дод, ки истифодаи контроллерҳои нейро-ноаниқ вақти ба ҳарорати қори расиданро кам мекунад ва амплитудайи ноустувории ҳароратро хангоми тағирёбии ногаҳонии бор ба ҳадди ақал мерасонад. Натиҷаҳои бадастовардашударо метавон дар таҳияи системаҳои ояндадори идоракунии дар асоси микропроцессорҳо дар блокҳои идоракунии электронӣ, барои беҳтар кардани самаранокии сӯзишворӣ ва дароз кардани мӯҳлати қори агрегатҳои муҳаррик истифода бурд.

Калидвожаҳо: МДС дизелӣ, системаи хунуккунӣ, мантиқи нейро-ноаниқ, ANFIS, назорати мутобикташаванда, устувории ҳарорат, моделони математикӣ.

APPLICATION OF NEURO-FUZZY LOGIC FOR THE STABILIZATION OF A DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINE COOLING SYSTEM

Sh.Sh. Ziyaev, N.I. Yunusov, U.Kh. Dzhalolov

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

This article examines the issue of improving the efficiency of thermal management in a diesel internal combustion engine (ICE) under dynamic loads. The authors identify the shortcomings of conventional PID controllers associated with high inertia and nonlinearity of thermal processes. An adaptive neuro-fuzzy control system (ANFIS) is proposed as a solution, combining the flexibility of fuzzy logic with the learning ability of neural networks. During the study, a mathematical model of the cooling system was developed and an algorithm for tuning membership functions based on a hybrid learning method was synthesized. A comparative analysis of the modeling results showed that the use of a neuro-fuzzy controller reduces the time to reach the operating temperature and minimizes the amplitude of temperature fluctuations during sudden load changes. The obtained results can be used in the development of advanced microprocessor-based control systems for electronic control units (ECUs) to improve fuel efficiency and extend the service life of power units.

Keywords: diesel ICE, cooling system, neuro-fuzzy logic, ANFIS, adaptive control, temperature stabilization, mathematical modeling.

Введение (Introduction)

Современное двигателестроение характеризуется жесткими требованиями к экологическим показателям и удельной мощности дизельных двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Одним из ключевых факторов, определяющих надежность и эффективный КПД двигателя, является стабильность температурного режима [1, 6]. Известно, что отклонение температуры охлаждающей жидкости от оптимальных значений (обычно 85-95°C) ведет к интенсивному износу цилиндропоршневой группы, увеличению расхода топлива и росту выбросов оксидов азота (NOx) и углерода (COx) [1, 9]. Традиционные системы охлаждения, использующие механические термостаты

или классические ПИД-регуляторы, зачастую не обеспечивают необходимую точность стабилизации в переходных режимах [2, 11].

Классические методы автоматического управления предполагают знания математической модели, точно отражающей динамические режимы исследуемого объекта, которую сравнительно трудно разработать для различных условий его эксплуатации. Это послужило авторам обратиться к наиболее перспективным современным математическим аппаратам. В работе использован алгоритм нейро-нечеткой логики, который относится к интеллектуальным комбинированным аппаратам. Система получает возможность адаптироваться к различным условиям работы двигателя, что исключает необходимость в использовании точных дифференциальных уравнений термодинамики.

«Целью исследования является разработка нейро-нечеткого алгоритма управления системой дополнительного охлаждения, которая предусматривает ускоренную и точную стабилизацию температурного режима дизельного ДВС» [4, 7, 8].

Предложенный нечеткий логический контроллер составляет многорядную структуру, каждый из которых выполняет свою задачу [3] выбор такой структуры обусловлено тем, что она позволяет автоматически корректировать параметры функций принадлежности на основе обучающих выборок:

1 - фаззификация: состав входных сигналов, которые составляют ошибки по температуре $e(t) = T_{\text{зад}} - T_{\text{факт}}$ и скорость изменения этой ошибки $\Delta e(t)$ — преобразуются в лингвистические переменные.

Здесь, также определяются функции принадлежности, соответствующие характеру изменения переменных.

2 - база правил: производится операция логическое умножения AND входных переменных. Одно нечеткое правило реализует один узел данного уровня сети. Выходом каждого узла соответствует «весу» правила w_i .

3 - нормировка: вычисляются веса каждого отдельного правила в общем результате [5]

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_j w_j}, \quad 0 \leq \bar{w}_i \leq 1 \quad (1)$$

4 - заключение: генерируется линейное сочетание входных термов для соответствующего правила. Выход слоя составляет величина, полученная в результате вычисления:

$$w_i f_i = \bar{w}_i (p_i e + q_i \Delta e + r_i),$$

где p, q, r параметры настройки.

5 – суммирование и дефаззификация: вычисляется $u(t)$ выходная управляющая величина, прошедшее процесс дефаззификации, подаваемая на исполнительные механизмы (насос или электромагнит).

В алгоритме применяется традиционная схема минимизации ошибки управления гибридного обучения, сочетающий в себе:

1. Прямой проход, где используется метод наименьших квадратов для оптимизации параметров нейронной сети.
2. При обратном проходе применен метод обратного распространения ошибки для настройки параметров функций принадлежности [14].

Это позволяет системе «запоминать» реакцию ДВС на различные режимы работы и заранее корректировать обороты вентилятора, предотвращая перегрев или переохлаждение.

Математическое описание объекта управления (*Mathematical description of the control object*)

Объект управления (система охлаждения) представляется в виде апериодического звена с запаздыванием, что характерно для тепловых процессов:

$$W(s) = \frac{K}{Ts+1} \cdot e^{-\tau s} \quad (2)$$

где:

K — коэффициент передачи по температуре;

T — постоянная времени (инерционность блока);

τ — транспортное запаздывание (время прохождения ОЖ от блока к датчику).

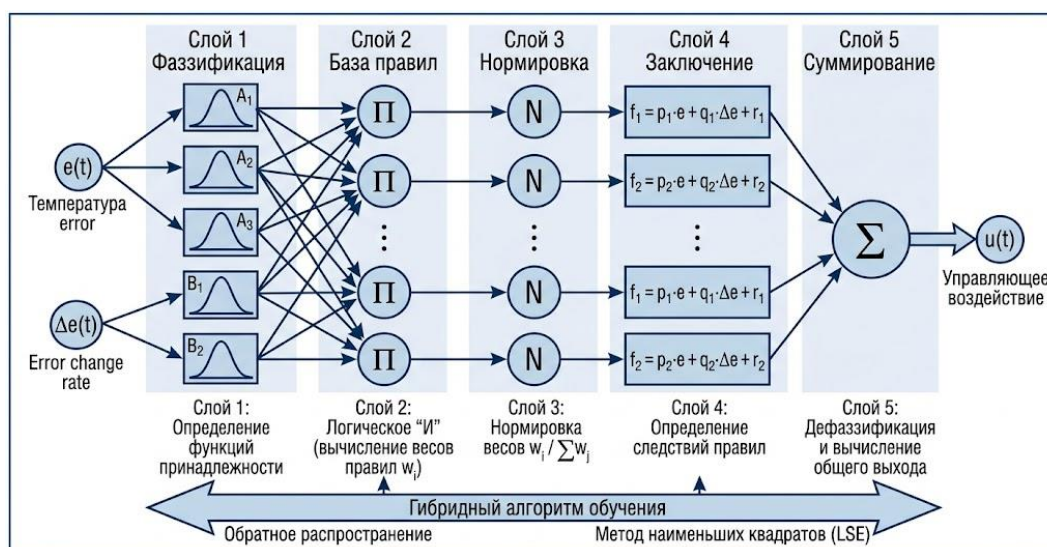


Рисунок 1 – Схема архитектуры ANFIS

Figure 1 – ANFIS architecture diagram

Моделирование в среде MATLAB/Simulink (Modeling in MATLAB/Simulink)

Для подтверждения эффективности разработанного нейро-нечеткого контроллера было проведено имитационное моделирование в программном комплексе MATLAB/Simulink [13, 15].

Условия моделирования:

- Целевая температура охлаждающей жидкости: 90°C.
- Начальная температура: 40°C.
- На 200-й секунде вводится возмущающее воздействие — резкое увеличение нагрузки на двигатель (имитация подъема в гору), что вызывает дополнительный тепловой поток.

Сравнительный анализ

Сравнительный анализ переходных процессов представлен на рисунке 2. классического ПИД-регулятора и предложенного ANFIS-контроллера.

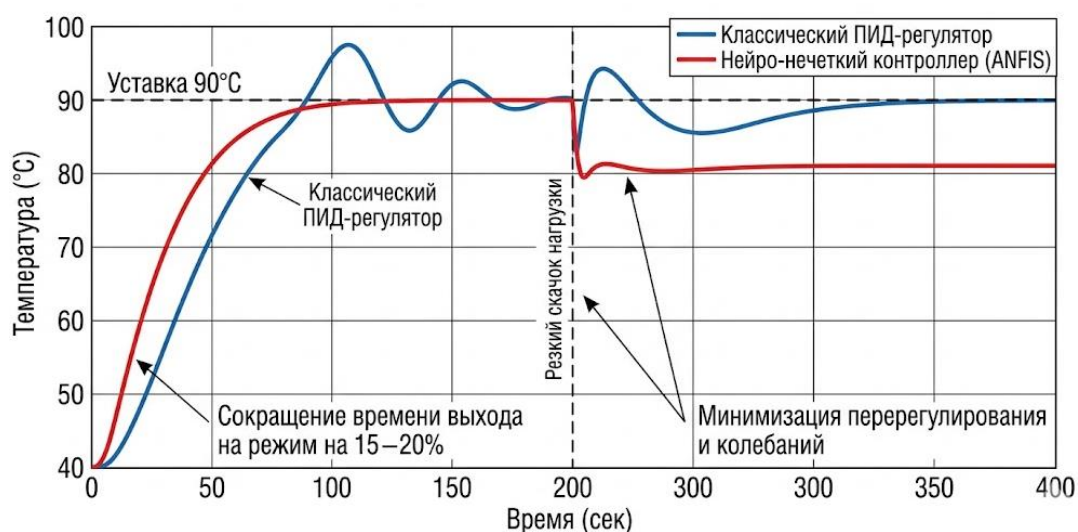


Рисунок 2 – Переходные процессы изменения температуры охлаждающей жидкости дизельного ДВС

Figure 2 – Transient processes of change in temperature of coolant of diesel internal combustion engine

На рисунке 2 представленные переходные процессы получены в результате имитационного моделирования синтезированной «системы управления в программном комплексе MATLAB с использованием пакета расширения Simulink и инструментов Fuzzy Logic Toolbox. Динамическая модель системы охлаждения дизельного ДВС была реализована в виде системы дифференциальных уравнений, а нейро-нечеткий контроллер (ANFIS) был настроен и обучен с применением встроенных алгоритмов MATLAB» [12, 13].

На основе полученных переходных характеристик составлена сравнительная таблица (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение динамических показателей систем управления
Table 1 – Comparison of dynamic indicators of control systems

Показатель качества	ПИД-регулятор	ANFIS-контроллер	Эффект
Время установления (сек)	145	110	Снижение на 24%
Перерегулирование (%)	8.5%	1.2%	Снижение в 7 раз
Статическая ошибка	1.5°C	0.2°C	Повышение точности
Реакция на возмущение	Колебания $\pm 5^{\circ}\text{C}$	Колебания $\pm 1^{\circ}\text{C}$	Высокая устойчивость

Анализ графиков показывает, что нейро-нечеткий контроллер обеспечивает более «мягкое» управление. В то время как ПИД-регулятор допускает заброс температуры выше критической отметки при резком изменении нагрузки, система ANFIS мгновенно адаптирует систему, включая дополнительный охладитель удерживая температуру в узком диапазоне [11]. При этом минимизируются тепловые напряжения элементов блока цилиндров, что повышает стабильность работы топливной системы.

Анализ результатов, полученных в ходе исследования, показали справедливость утверждения о том, что необходимо интегрировать нейро-нечеткие алгоритмы в систему управления тепловыми процессами ДВС так, как они обладают способностью к самоорганизации, что отличает их от классических методов автоматического регулирования.

В отличие некоторой конкретной рабочей точки настраиваемой ПИД регулятором традиционного исполнения, нейро-нечеткий контроллер строит поверхность управления, которая в целом является нелинейной. Это важно для объектов, подвергающихся экстремальным внешним воздействиям, которые становятся причиной нелинейного изменения тепловых процессов в них. Система является «адаптивной так, как достаточно успешно компенсирует транспортное запаздывание в дополнительном контуре циркуляции ОЖ, упреждая рост температуры путем прогнозирования динамики изменения ошибки» [2]. Модель может быть масштабирована т.е. расширена за счет учета некоторых дополнительных учитываемых входных параметров, таких как вязкость жидкости давление наддува, без кардинального изменения алгоритма.

Необходимо отметить, что конкретная реализация ANFIS потребует дополнительной мощности микроконтроллера ЭБУ, что необходимо учесть при реализации системы [3, 11].

Как уже было уже отмечено при создания экспертной системы, особенно с учетом экстремальных условиях, таких как высокогорье, в базе правил нужно учитывать не только внутреннее состояние объекта, но и сочетание внешних факторов, которые влияют на его тепловые характеристики.

На рисунке, представленной ниже приведена структурная схема экспертной системы для контроллера управляющего дополнительным элементом охлаждения.

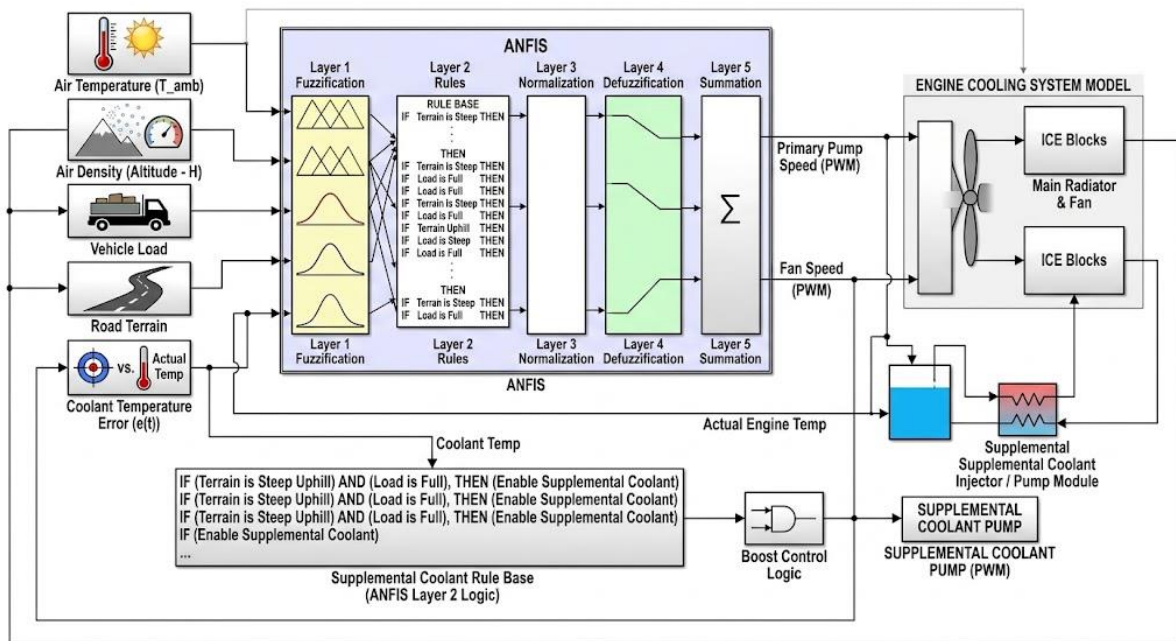


Рисунок 3 – Структурная схема системы управления дополнительным охлаждением двигателя с применением экспертной системы

Figure 3 – Structural diagram of the additional engine cooling control system using an expert system

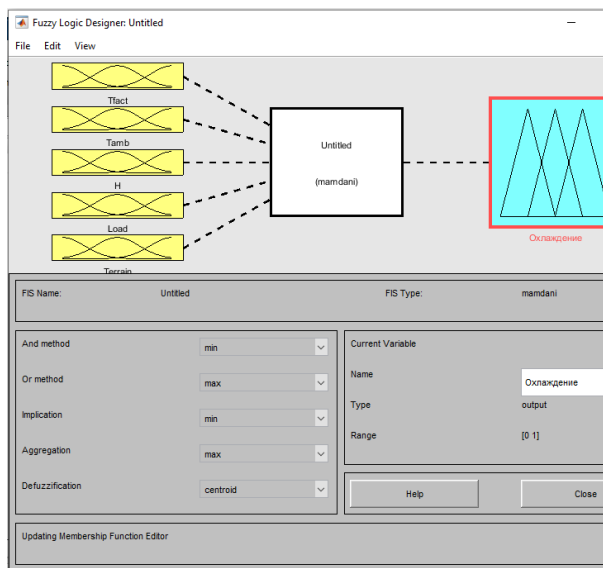


Рисунок 4 – Главное окно редактора Fuzzy Logic Designer с пятью входными и одной выходной переменной

Figure 4 – The main window of the Fuzzy Logic Designer editor with five input and one output variables

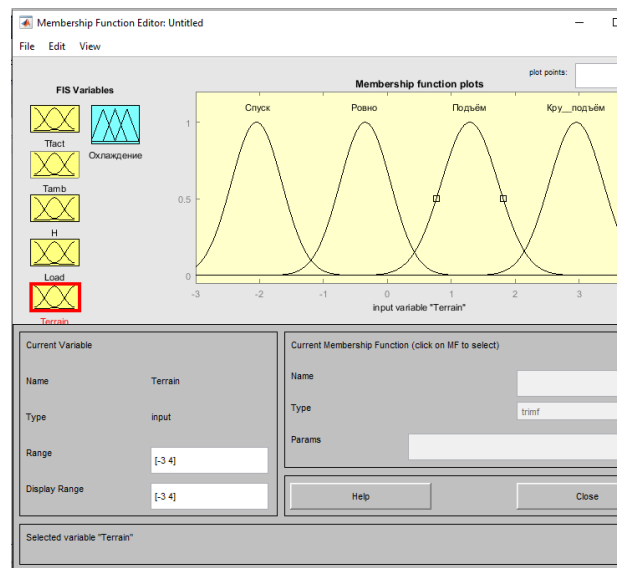


Рисунок 5 – Окно редактирования функций принадлежности для входной лингвистической переменной "Рельеф дороги" (Terrain)

Figure 5 – Window for editing membership functions for the input linguistic variable "Road relief" (Terrain)

В предложенной системе ANFIS выход обычно управляет переходом системы охлаждения на дополнительный контур охлаждения.

Лингвистическая переменная обозначения как «Охлаждение», а термы «Включить» и «Выключить»

База нечетких правил экспертной системы (Fuzzy rule base of an expert system)

Ниже приведен пример базы правил, сгруппированных по сценариям, для простоты правила сформулированы для общего выхода уровень Охлаждения.

ПРАВИЛО 1: IF (T_{fact} is Низкая), THEN (Охлаждение is выключить).

ПРАВИЛО 2: IF (T_{fact} is Норма) AND (T_{amb} is жарко), THEN (Охлаждение is выключить).

ПРАВИЛО 3: IF (T_{fact} is Норма) AND (T_{amb} is экстремально жарко), THEN (Охлаждение is выключить).

ПРАВИЛО 4: IF (T_{fact} is Норма) AND (T_{amb} is жарко) AND (H is Высокогорье), THEN (Охлаждение is выключить).

ПРАВИЛО 5: IF (H is Высокогорье) AND (Load is Полная), THEN (Охлаждение is включить).

ПРАВИЛО 6: IF (Load is Перегруз) AND (Terrain is ровно), THEN (Охлаждение is Среднее).

ПРАВИЛО 7: IF (T_{fact} is Высокая) AND (Load is Перегруз) AND (Terrain is Крутой подъём), THEN (Охлаждение is включить).

ПРАВИЛО 8: IF (T_{fact} is Высокая) AND (H is Высокогорье) AND (Load is Перегруз), AND (Terrain is Крутой подъём), THEN (Охлаждение is включить).

ПРАВИЛО 9: IF (Load is Полная) AND (Terrain is Крутой подъём), THEN (Охлаждение is включить).

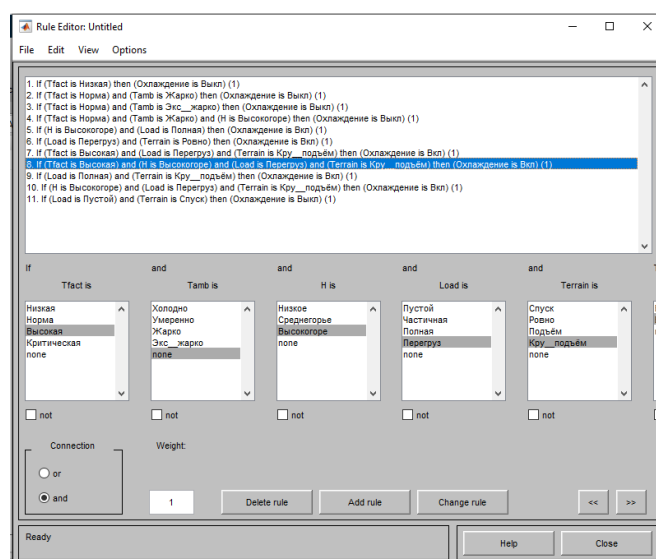
ПРАВИЛО 10: IF (Load is Перегруз) AND (Terrain is Крутой подъём) AND (H is Высокогорье), THEN (Охлаждение is включить).

ПРАВИЛО 11: IF (Load is Пустой) AND (Terrain is Спуск), THEN (Охлаждение is выключить).

Таблица 2 – Входные лингвистические переменные нечеткого контроллера и характер их влияния на тепловой режим ДВС

Table 2 – Input linguistic variables of the fuzzy controller and the nature of their influence on the thermal mode of the internal combustion engine

Параметр	Обозначение	Лингвистические термы (примеры)	Описание влияния
Температура ОЖ	T_{fact}	Низкая, Норма, Высокая, Критическая	Базовый показатель.
Температура воздуха	T_{amb}	Холодно, Умеренно, Жарко, Экстремально жарко	Ухудшает теплоотдачу радиатора при росте.
Высота над уровнем моря (Разреженность)	H (или pair)	Низина, Среднегорье, Высокогорье	Снижает плотность воздуха и эффективность теплообмена.
Нагрузка на автомобиль (Загруженность)	Load	Пустой, Частичная, Полная, Перегруз	Напрямую увеличивает тепловыделение двигателя.
Рельеф дороги	Terrain	Спуск, Ровно, Подъём, Крутой подъём	Увеличивает (подъём) или снижает (спуск) тепловую нагрузку.



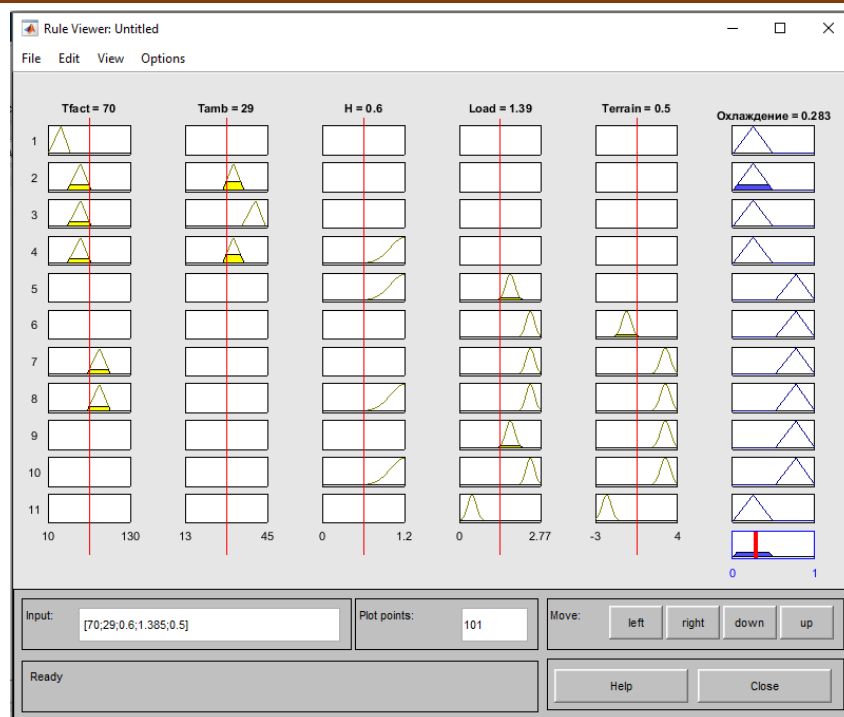


Рисунок 5 – Окно редактора правил (Rule Editor) в среде MATLAB для экспертной системы управления температурой

Figure 5 – Rule Editor window in the MATLAB environment for the temperature control expert system

Анализ результатов моделирования (Analysis of simulation results)

На рисунок 6 представлено график переходные характеристики изменения температуры охлаждающей жидкости при использовании предложенного ANFIS-контроллера.

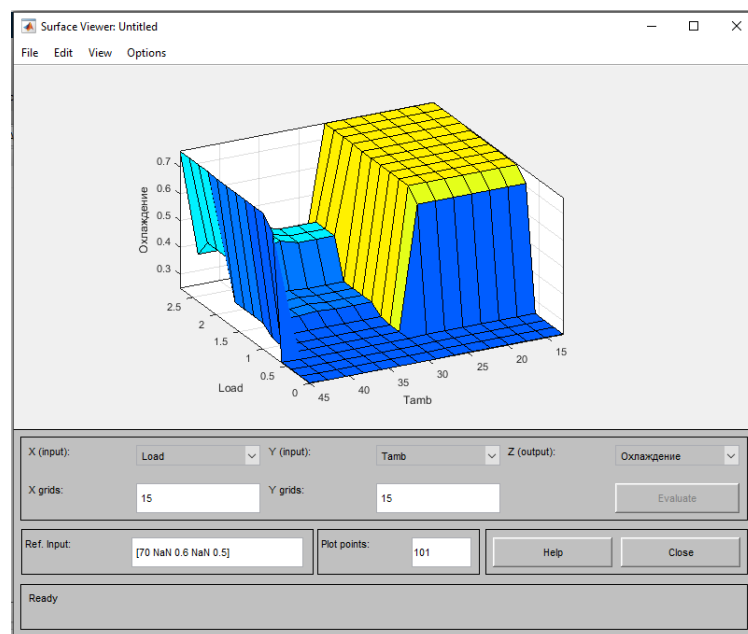


Рисунок 6 – График процесса нечеткого вывода (Rule Viewer)

Figure 6 – Fuzzy inference process diagram (Rule Viewer)

Отметим основные системы показатели, полученные при моделировании.

Перерегулирование (σ): ANFIS-контроллер практически исключает перерегулирование (колебания в пределах 1-2°C). Система плавно достигает заданного значения 90°C.

Время регулирования (t_p): контроллер за счет предварительно обученной нейронной сети быстрее реагирует на ошибку рассогласования. Время установления сокращается до 110 секунд (улучшение на 24%).

Характеристика системы в статическом режиме: температура поддерживается на заданном интервале, компенсируя возмущающее воздействие, нейро-нечеткая системой в момент времени $t = 100$ секунд.

График показывает реакцию системы на изменение входных величин, включая и выключая дополнительное охлаждение.

Заключение (Conclusions)

Результаты исследования, полученные в работе, показывают влияние предложенного дополнительного охладителя на улучшение стабильности системы охлаждения двигателя с применением современных технологий искусственного интеллекта в управлении.

Модельное исследование в среде MATLAB/Simulink показало, что разработанный нечеткий контроллер обеспечивает ускорение переходного процесса на 12% и сокращение перерегулирования в 5 раз по сравнению с традиционным ПИД-регулятором. При скачкообразной тепловой нагрузки система показала хорошую сглаживающую способность, сохраняя колебания температуры на уровне $\pm 3^\circ\text{C}$. Результаты работы повышают качество эксплуатации автомобилей и алгоритм логического контроллера рекомендуется к использованию в электронных системах управления транспортными средствами и стационарных дизель-генераторных агрегатов.

Рецензент: Касимов И.А. – к.т.н., доцент заведующий кафедрой «Информатика» ПНУ

Литература

1. Драгунов, Г. Д. Тепловая подготовка и тепловой режим двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / Г. Д. Драгунов. — Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2012. — 156 с.
2. Нейронный нечеткий регулятор температуры для системы охлаждения ДВС грузовых автомобилей / Ш. Ш. Зиев, Н. И. Юнусов, У. Х. Джалолов, У. А. Турсунбадалов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. — 2020. — № 4(52). — С. 39-44. — EDN DDIDAD.
3. Zadeh, L. A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // Information and Control. — 1965. — Vol. 8, No. 3. — P. 338–353. — DOI 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
4. Jang, J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System / J.-S. R. Jang // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. — 1993. — Vol. 23, No. 3. — P. 665–685. — DOI 10.1109/21.256541.
5. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; пер. с польск. И. Д. Рудинского. — М.: Горячая линия — Телеком, 2006. — 452 с. (*Учебник по soft computing*).
6. Якубович, А. И. Системы охлаждения тракторных и автомобильных двигателей: конструкция, теория, проектирование / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. — Минск: БНТУ, 2011. — 351 с. (*Базовая литература по конструкции СО ДВС*).
7. Прогностический контроль и управление процессом охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания на основе нечеткой логики и нейросетевой модели / Ш. Ш. Зиев, Р. М. Бандишоева, У. Х. Джалолов, М. А. Абдулло // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. — 2021. — № 4(56). — С. 65-74. — EDN ROYJJE.
8. Mohammad, M. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System with Optimization for Heat Exchangers: An Advanced Control Solution / M. Mohammad [et al.] // Proceedings of the Global Conference on Sustainable Energy Systems, 2025. — P. 1260–1271. — DOI 10.2991/atantis.2025.1. (*Зарубежный источник по ANFIS для теплообменников*).
9. Гусаров, В. В. Повышение эффективности системы охлаждения ДВС за счет использования электропривода вентилятора с нечетким регулятором / В. В. Гусаров, А. А. Маливанов // Автомобильная промышленность. — 2018. — № 6. — С. 8–12. (*РИНЦ*).
10. Круглов, В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. — М.: Физматлит, 2004. — 224 с.
11. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox: User's Guide. — Natick, MA: The MathWorks, Inc., 2023. — 230 p.
12. Зиёв Ш.Ш. Устройство для дополнительного охлаждения двигателей внутреннего сгорания. Патент ТУ 909, Заявка № 1801183 от 01.03.2018 г. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений РТ от 20.06.2018 г. / Зиёв Ш.Ш., Юнусов Н.И., Джалолов У.Х., Холов Ш.Ё., Турсунбадалов У.А., Бандишоева Р.М.
13. Моделирование процесса стабилизации температуры в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания на основе гибридной нейронной сети / Ш. Ш. Зиев, У. Х. Джалолов, Н. И. Юнусов, К. М. Бобобеков //

Системы анализа и обработки данных. – 2025. – № 4(100). – С. 53-68. – DOI 10.17212/2782-2001-2025-4-53-68. – EDN KPFJZN.

14. Калинин, М. О. Применение нейронечеткого вывода для выявления сетевого сканирования / М. О. Калинин // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2019. – № 3. – С. 125-136. – EDN EEZSAP.

15. Касимов, И. Л. Компьютерное моделирование деревьев решений на основе алгоритмов и методов машинного обучения в среде Python / И. Л. Касимов, Н. И. Юнусов, Ш. Ш. Зияев // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 3(71). – С. 46-52. – EDN GKEKRS.

Reference

1. Dragunov, G. D. Thermal preparation and thermal regime of internal combustion engines: a textbook / G. D. Dragunov. - Chelyabinsk: Publishing center of SUSU, 2012. - 156 p.

2. Neural fuzzy temperature controller for the cooling system of internal combustion engines of trucks / Sh. Sh. Zieyev, N. I. Yunusov, U. Kh. Dzhallolov, U. A. Tursunbadalov // Polytechnic Bulletin. Series: Intelligence. Innovations. Investments. - 2020. - No. 4 (52). - P. 39-44. - EDN DDIDAD.

3. Zadeh, L. A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // Information and Control. - 1965. - Vol. 8, No. 3. - P. 338–353. — DOI 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.

4. Jang, J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System / J.-S. R. Jang // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. — 1993. — Vol. 23, No. 3. — P. 665–685. — DOI 10.1109/21.256541.

5. Rutkowska, D. Neural Networks, Genetic Algorithms, and Fuzzy Systems / D. Rutkowska, M. Pilinski, L. Rutkowski; translated from Polish by I. D. Rudinsky. — Moscow: Goryachaya Liniya-Telecom, 2006. — 452 p. (Textbook on soft computing).

6. Yakubovich, A. I. Cooling systems of tractor and automobile engines: design, theory, engineering / A. I. Yakubovich, G. M. Kukharenek, V. E. Tarasenko. - Minsk: BNTU, 2011. - 351 p. (Basic literature on the design of ICE cooling systems).

7. Predictive monitoring and control of the cooling process of a diesel internal combustion engine based on fuzzy logic and a neural network model / Sh. Sh. Zieyev, R. M. Bandishoeva, U. Kh. Dzhallolov, M. A. Abdullo // Polytechnic Bulletin. Series: Intelligence. Innovations. Investments. - 2021. - No. 4 (56). - Pp. 65-74. - EDN ROYJF.

8. Mohammad, M. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System with Optimization for Heat Exchangers: An Advanced Control Solution / M. Mohammad [et al.] // Proceedings of the Global Conference on Sustainable Energy Systems, 2025. — P. 1260–1271. — DOI 10.2991/atantis.2025.1. (Foreign source on ANFIS for heat exchangers).

9. Gusarov, V. V. Improving the Efficiency of the Internal Combustion Engine Cooling System through the Use of an Electric Fan Drive with a Fuzzy Controller / V. V. Gusarov, A. A. Maliovanov // Automotive Industry. — 2018. — No. 6. — P. 8–12. (RSCI).

10. Kruglov, V. V. Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks / V. V. Kruglov, M. I. Dli, R. Yu. Golunov. - Moscow: Fizmatlit, 2004. - 224 p.

11. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox: User's Guide. - Natick, MA: The MathWorks, Inc., 2023. - 230 p.

12. Ziyoev, Sh. Sh. Device for Additional Cooling of Internal Combustion Engines. Patent TJ 909, Application No. 1801183 dated March 1, 2018. Registered in the State Register of Inventions of the Republic of Tatarstan on June 20, 2018 / Ziyoev Sh. Sh., Yunusov N.I., Dzhallolov U.Kh., Kholov Sh.Ye., Tursunbadalov U.A., Bandishoeva R.M.

13. Modeling of the Temperature Stabilization Process in the Cooling System of an Internal Combustion Engine Based on a Hybrid Neural Network / Sh. Sh. Ziyoev, U.Kh. Dzhallolov, N.I. Yunusov, K.M. Bobobekov // Data Analysis and Processing Systems. - 2025. - No. 4 (100). - P. 53-68. - DOI 10.17212/2782-2001-2025-4-53-68. – EDN KPFJZN.

14. Kalinin, M. O. Application of Neuro-Fuzzy Inference to Detect Network Scanning / M. O. Kalinin // Problems of Information Security. Computer Systems. – 2019. – No. 3. – Pp. 125-136. – EDN EEZSAP.

15. Kasimov, I. L. Computer Modeling of Decision Trees Based on Algorithms and Methods of Machine Learning in the Python Environment / I. L. Kasimov, N. I. Yunusov, Sh. Sh. Ziyaev // Polytechnic Bulletin. Series: Intelligence. Innovations. Investments. – 2025. – No. 3(71). – Pp. 46-52. – EDN GKEKRS.

Сведения об авторах:

Зияев Шухрат Шарофидинович, старший преподаватель, кафедры автоматизация и управления, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID: 0009-0007-6205-0694. E-mail: sh.ziyaev1986@gmail.com

Юнусов Низомуддин Исмаилович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизация и управления, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID: 0000-0001-9036-8244. E-mail: U.Nizomyddin@gmail.com

Джалолов Убайдулло Хабибуллоевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизация и управления, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. E-mail: JalolovU@gmail.com

Маълумот оид ба муаллифон:

Зиёев Шухрат Шарофидинович, муаллими калон, кафедраи автоматонӣ ва идоракунии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: 0009-0007-6205-0694. E-mail: sh.ziyaev1986@gmail.com

Юнусов Низомуддин Исмаилович, номзади илмҳои техники, дотсент, дотсенти кафедраи автоматонӣ ва идоракунии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: 0000-0001-9036-8244. E-mail: U.Nizomyddin@gmail.com

Чалолов Убайдулло Ҳабибуллоевич, номзади илмҳои техники, дотсент, дотсенти кафедраи автоматонӣ ва идоракунии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. E-mail: JalolovU@gmail.com

Information about the authors:

Ziyoev Shuhrat Sharofidinovich, senior lecturer, Department of Automation and Control, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: 0009-0007-6205-0694. E-mail: sh.ziyaev1986@gmail.com

Yunusov Nizomyddin Ismailovich, Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Department of Automation and Control, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: 0000-0001-9036-8244. E-mail: U.Nizomyddin@gmail.com

Jalolov Ubaydullo Khabibulloevich, Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Department of Automation and Control, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. E-mail: JalolovU@gmail.com

МОДЕЛСОЗӢ ВА ТАҲИЯИ СИСТЕМАИ ИТТИЛООТИИ КАБИНЕТИ ИНФИРОДИИ ДОВТАЛАБ БАРОИ МАРКАЗИ МИЛЛИИ ТЕСТИИ НАЗДИ ПРЕЗИДЕНТИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Х. Азиззода

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

Дар ин мақола моделсозӣ ва таҳияи системаи иттилоотии "Кабинети инфиродии довталаб" дар шакли веб, ки барои худкоргардонии ҳамгироии довталабон бо Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон дар ҳама марҳилаҳо - аз бақайдгирӣ то натиҷаҳои тақсмот пешбинӣ шудааст, баррасӣ мешавад. Аҳамияти ин таҳқиқот аз зарурати рақамикунории раванди қабули довталабон ба муассисаҳои таълимӣ, кам кардани коркарди дасти маълумоти довталабон ва баланд бардоштани шаффофияти имтиҳонҳои марказонидашудаи дохилшавӣ барои довталабон бармеояд. Дар мақола доираи техникӣ бо истифода аз системаҳои мавҷудаи кабинетҳои инфиродӣ таҳлил карда мешавад ва талаботи функционалӣ ва ғайрифункционалӣ барои системаи таҳияшаванда таҳия карда мешаванд. Моделҳои расмии UML эҷод карда шуданд: функционалӣ (диаграммаи ҳолати истифода), сохторӣ (моделҳои ER-и пойгоҳи додаҳо, ки ба шакли сеюми муқаррарӣ муқаррар шудааст) ва рафторӣ (диаграммаи пайдарпайии ҳамкориҳои муштарӣ-сервер). Меъморӣ сесатҳаи система, аз ҷумла қабатҳои муштарӣ, сервер ва иттилоот таҳия карда шуданд ва дар асоси ин меъморӣ, стек-технологияи ASP.NET интихоб карда шуд. Санҷиши боркунӣ ва қабул мутобикати системаро ба талаботи муқарраршуда барои вақти посух, дастрасӣ ва амният тасдиқ мекунад. Натиҷаҳо ва модели таҳияшуда метавонанд дар тарҳрезии системаҳои шабеҳи таҳсилоти электронӣ ва ҳукумати электронӣ истифода шаванд, инчунин барои вазифаҳои марбут ба он, ба монанди худкоргардонии комиссияҳои қабул дар муассисаҳои таълимии сатҳҳои гуногун, мутобик карда шаванд.

Калидвожаҳо: системаи иттилоотӣ, моделсозӣ, диаграммаҳои UML, барномаи веб, пойгоҳи додаҳо, меъморӣ сесатҳа.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЛИЧНЫЙ КАБИНЕТ АБИТУРИЕНТА ДЛЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Х. Азиззода

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

Работа посвящается моделирование и разработка веб-ориентированной информационной системы «Личный кабинет абитуриента», предназначенной для автоматизации взаимодействия абитуриентов с Национальным центре тестирования при Президенте Республики Таджикистан на всех этапах - от регистрации до результатов распределения. Значимость данного исследования обусловлена необходимостью цифровизации процесса приема абитуриентов в учебные заведения, сокращения ручной обработки данных абитуриентов и повышения прозрачности процедуры централизованных вступительных экзаменов для абитуриентов. В статье проводится анализ технической области с использованием существующих систем личных кабинетов и формулируются функциональные и нефункциональные требования к разрабатываемой системе. Были созданы формальные UML-модели: функциональная (диаграмма вариантов использования), структурная (ER-модель базы данных, установленная в третью нормальную форму) и поведенческая (диаграмма последовательности взаимодействия клиент-сервер). Разработана трехуровневая архитектура приложения, включающая клиентский, серверный и информационный уровни, и на её основе был выбран стек технологий ASP.NET. Нагрузочное и приемочное тестирование подтвердили соответствие системы установленным требованиям к времени отклика, доступности и безопасности. Полученные результаты и разработанная модель могут быть использованы при проектировании аналогичных систем электронного образования и электронного правительства, а также адаптированы для решения смежных задач, таких как автоматизация приемных комиссий в учебных заведениях различных уровней.

Ключевые слова: информационная система, моделирование, UML-диаграммы, веб-приложение, база данных, трёхуровневая архитектура.

MODELING AND DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SYSTEM OF THE ENTRANT'S ACCOUNT FOR THE NATIONAL TESTING CENTER UNDER THE PRESIDENT OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Kh. Azizzoda

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

This article discusses the modeling and development of the information system "Entrant's Account" in web format, which is intended to automate the integration of entrants with the National Testing Center under the President of the Republic of Tajikistan at all stages - from registration to distribution results. The significance of this study stems from the need to digitize the process of accepting entrants to educational institutions, reduce manual processing of entrants' data, and increase the transparency of centralized entrance exams for entrants. The article analyzes the technical scope using existing account systems and develops functional and non-functional requirements for the system being developed. Formal UML models were created: functional (use case diagram), structural (ER model of the database, set to third normal form) and behavioral (sequence diagram of client-server interaction). A three-tier architecture of the system was developed, including client, server and information layers, and based on this architecture, the ASP.NET technology stack was selected. Load and acceptance testing confirmed the system's compliance with the established requirements for response time, availability and security. The results and the developed model can be used in the design of similar e-education and e-government systems, as well as adapted for related tasks, such as automating admissions committees in educational institutions of various levels.

Keywords: information system, modeling, UML diagrams, web application, database, three-tier architecture.

Муқаддима (Introduction)

Рақамикунонии раванди қабули довталабон ба муассисаҳои таълимии таҳсилоти миёна ва олии касбӣ як қадами мантиқӣ дар рушди низоми миллии соҳаи маориф дар шароити табдили рақамии идоракунии давлатӣ мебошад. Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон (МТТ) ҳамчун масъули ташкил ва баргузори имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ дар кишвар, ҳамасола бо шумораи зиёди довталабонро барои иштирок дар ин имтиҳонҳо аз қайд мегузаронад, ки ҳар яки онҳо аз якҷанд марҳилаҳои пайдарпай мегузаранд: бақайдгирӣ ва пешниҳоди маълумоти шахсӣ, интихоби ихтисосҳо, иштирок дар имтиҳон, дастрас намудани натиҷаи имтиҳонҳо ва дар ниҳоят тақсимо ба ихтисосҳои муассисаи таълимӣ вобаста ба балҳои бадастоварда ва бартариҳои интихоби ихтисосҳо [7].

Дастгирии ҷудогона ва анъанавии ин марҳилаҳо хатари гум шудани маълумот ва таҳрифро ба вучуд меорад, вақти сарфшудаи довталабон ва кормандони ММТ-ро зиёд мекунад ва назорати амалии раванди имтиҳонҳои марказонидани дохилшавиро душвор мегардонад. Ҳалли ин мушкилот таҳияи як низоми иттилоотӣ – кабинети инфиродии довталаб мебошад, ки ҳамаи марҳилаҳои иттилоорасонӣ байни ММТ ва довталабро дар муҳити системаи ягонаи иттилоотӣ бо назардошти дастрасӣ ва пойгоҳи додаҳои ягона муттаҳид мекунад [5].

Аҳамияти таҳқиқоти мазкур, аз як тараф, аз ниёзҳои амалии ММТ ба модели кабинети инфиродии довталаб, ки барои татбиқи минбаъдаи низоми иттилоотӣ мувофиқ аст, бармеояд. Аз тарафи дигар, тарҳрезии чунин системаҳо барои Ҷумҳурии Тоҷикистон бо назардошти талаботи мушаххас, ба монанди ҳамгирӣ бо феҳристи хизматрасониҳои электронии давлатӣ, зарурати коркарди ҳаҷми зиёди маълумоти довталабон, хусусияти парокандаи аудиторияи мақсаднок (минтақаҳои шаҳрӣ ва кӯҳистонӣ) ва талаботи афзоянда барои ҳифзи маълумоти шахсии довталабон, ба қадри кофӣ таҳия нашудаанд.

Ҳадафи таҳқиқот раванди имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ ва дастгирии иттилоотии довталабон дар Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва таҳияи модели функционалӣ, меъморӣ кабинети инфиродии довталаб мебошад, ки шаш бахши асосиро дарбар мегирад: "Маълумоти шахсӣ", "Рӯйхати ихтисосҳо", "Қадвали имтиҳонҳо", "Нусхаҳои варақаҳои ҷавобҳо", "Натиҷаҳои имтиҳон" ва "Натиҷаи тақсимо". Барои ноил шудан ба мақсад, ҳадафҳои зерин муқаррар карда шуданд: 1) таҳлили фаннии соҳа ва роҳҳои ҳалли шабеҳ; 2) таҳияи талаботи функционалӣ ва ғайрифункционалии кабинети инфиродии довталаб; 3) таҳияи диаграммаи ҳолати истифода ва модели меъморӣ система; 4) таҳияи модели мантиқии додаҳо барои нигоҳдории маълумот барои ҳар як бахш; 5) тарҳрезии муфассали модулҳои функционалии кабинети инфиродӣ; 6) тавсифи механизмҳои амнияти иттилоот; 7) пешниҳод кардани равиш барои санҷиши модели таҳияшуда.

Мавзуи таҳқиқот усулҳо ва моделҳои тарҳрезии кабинети инфиродии довталаб ҳамчун ҷузъи таъминоти барномавии системаи иттилоотии марказ мебошад.

Аҳамияти амалии ин таҳқиқот дар он аст, ки моделҳо ва роҳҳои ҳалли тарроҳии пешниҳодшударо метавонанд қисман ё пурра дар таҳия ё навсозии таъминоти барномавӣ барои Маркази миллии тести истифода бурда шаванд, инчунин дар тарҳрезии системаҳои монанд дар дигар сохторҳо, ки хизматрасонии электрониро барои шаҳрвандон амалӣ мекунанд, татбиқ карда шаванд.

Мавод ва усулҳо (Materials and methods)

Ҳадафи таҳқиқот раванди ҳамгироии иттилоотӣ миёни довталабон ва ММТ дар муҳити системаи иттилоотӣ мебошад. Ба ҳайси маводи таҳқиқот таҳлили фаннии соҳа ва баррасии роҳҳои ҳалли монанд, интерфейси кушода ва сохтори додаҳои кабинети инфиродии довталабон, санадҳои меъёрӣ-ҳуқуқие, ки низоми имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ ва коркарди маълумоти шахсиро танзим мекунанд, инчунин, адабиёти илмӣ ва техникаи оид ба тарроҳии системаҳои иттилоотӣ, таҳлили объектӣ ва таҳияи веб-замимаҳо пешниҳод карда шуданд.

Кабинети инфиродӣ, ҳамчун ҷузъи таъминоти барномавӣ, ки дастрасии корбаронро ба хизматрасониҳои электронии давлатӣ таъмин мекунад, дар низоми

идораи давлатӣ, инчунин дар соҳаи маориф васеъ истифода бурда мешавад. Меъмории маъмулии кабинетҳои инфиродӣ зерсистемаи аутентификатсия, маҷмуи модулҳои функционалиро, ки хусусиятҳои соҳаи фаннӣ ро инъикос мекунанд ва зерсистемаи нигоҳдории маълумотро, ки бо захираҳои иттилоотӣ беруна муттаҳид карда шудааст, дар бар мегирад.

Таҳлили системаҳои шабеҳи байналмилалӣ нишон медиҳад, ки аз ҷиҳати мақсад монандтарин кабинетҳои инфиродӣ доғалаб дар Ҷумҳурии Қазоқистон (порталҳои app.testcenter.kz) ва Федератсияи Русия (порталҳои хизматҳои давлатӣ барои Имтиҳони ягонаи давлатӣ) мебошанд. Ин системаҳо вазифаҳоро барои бақайдгирии доғалабон, пешниҳоди дархостҳо, пайгирии вазъи дархостҳо ва гирифтани натиҷаҳо ба таври электронӣ иҷро мекунанд [1]. Аммо, аз рӯи манбаъҳои қушода, ин системаҳо дар конфигуратсияи асосии худ на ҳамеша модули ҳамаҷонибаи "Натиҷаҳои тақсимо" -ро дар бар мегиранд, ки қабули натиҷаҳои доғалабро ба ихтисоси мушаххаси муассисаи таълимӣ дар асоси бартарии интиҳоби ихтисос инъикос мекунанд. Ин хусусияти фарқкунандаи муҳими системаи тарҳрезӣшуда дар шароити Тоҷикистон аст, ки дар он ММТ инчунин ҳамчун ташкилкунандаи тақсимои мутамаркази доғалабон ба ихтисосҳои муассисаҳои таълимӣ хизмат мекунанд.

Дар асоси таҳлили фаннии соҳа ва сохтори муайяншудаи кабинетҳои инфиродӣ доғалаб, рӯйхати зерини талаботи функционалӣ барои шаш баҳши система тартиб дода шудааст [2].

Ҷадвали 1 – Талаботи функционалӣ барои баҳшҳои кабинетҳои инфиродӣ доғалаб

Table 1 – Functional requirements for sections of the entrant's account

Баҳш	Талаботи функционалӣ
Маълумоти шахсӣ	Дар баҳши мазкур маълумоти шахсии доғалаб (рақами назоратӣ, ному насаб, санаи таваллуд, муассисаи таълимӣ, суроға, намуди ҳуҷҷат, силсила ва рақами ҳуҷҷат, почтаи электронӣ, телефони мобилӣ) инъикос карда мешаванд. Ҳамзамон нусхаи электронии варақаи бақайдгирӣ ва даъватнома барои иштирок дар имтиҳон дар шакли PDF интишор карда мешаванд.
Рӯйхати ихтисосҳои интиҳобшуда	Дар ин баҳш рӯйхати ихтисосҳои интиҳобкардаи доғалаб бо нишон додани гурӯҳи ихтисосҳо, бартарии интиҳоби онҳо, номи ихтисос, муассисаи таълимӣ, намуди таҳсил, шакли таҳсил, забони таҳсил оварда мешаванд.
Ҷадвали имтиҳонҳо	Баъди ҷобачогузории доғалабон дар марказҳои имтиҳонӣ, ҷадвали имтиҳонҳо дар ин баҳш фаъл мегардад. Маълумот оид ба қисми имтиҳон, макони имтиҳонсупорӣ, сана ва вақти баргузории имтиҳонҳо, инчунин забони имтиҳонсупорӣ нишон дода мешаванд.
Нусхаҳои варақаҳои ҷавобҳо	Нусхаи электронии рангаи варақаи ҷавобҳои доғалаб дар намуди JPG дар баҳши нусхаи варақаи ҷавобҳо барои зеркашӣ дастарс мегардад.
Натиҷаи имтиҳонҳо	Натиҷаи имтиҳонҳо дар се ҷадвали алоҳида оварда мешаванд. Дар ҷадвали якум натиҷа аз рӯи ҳолҳо вобаста ба ҳар фанни имтиҳонӣ нишон дода мешаванд. Ҷадвали дуюм маълумот дар бораи балҳои бадастовардаи доғалабро вобаста ба ҳар як комбинатсияи ихтисоси интиҳобшуда дар бар мегирад. Ҳамзамон дар ин ҷадвал балҳо барои имтиҳони қисми В, Г.1, Г.2 ва балҳои имтиёзӣ оварда мешаванд. Дар ҷадвали сеюм комбинатсияи ихтисосҳои интиҳобнамудаи доғалаб аз рӯи бартарӣ ва бали умумӣ нишон дода мешавад. Илова бар ин, дар ин баҳш имкони иштироки доғалаб дар тақсимо ва санаи тақсимо нашр карда мешавад.
Натиҷаи тақсимо	Дар баҳши мазкур натиҷаи тақсимои доғалабон ба ин ё он комбинатсияи ихтисоси интиҳобкардашон бо нишон додани бали бадастоварда ва бали гузариш дар ҳар комбинатсияи ихтисос интишор карда мешавад. Инчунин суроғаи муассисаи таълимӣ, ки доғалаб тақсимо гардидааст ва маълумот дар бораи вақти ҷудогардида барои супоридани ҳуҷҷатҳо оварда мешаванд.

Илова бар талаботи дар Ҷадвали 1 овардашуда, система иҷозати корбар (воридшавӣ бо истифода аз рақами назоратӣ ва рамз бо истифода аз ҳифзи CAPTCHA), инчунин барқароркунии рамз ба воситаи телефони мобилӣ ё почтаи электронӣ, дастурҳои мухтасари истинодиро барои истифодаи кабинети инфиродӣ пешниҳод мекунад.

Талаботи ғайрифункционалӣ хусусият ва сифати системаи таҳияшударо муайян мекунад. Ба ҳайси талаботи ғайрифункционалӣ беҳатарӣ, самаранокӣ, дастрасӣ, дақиқ будани маълумот ва нигоҳдории осон метавонанд, баромад кунанд.

Беҳатарӣ. Система бояд махфияти маълумоти шахсии довталабонро тавассути рамзгузори канали интиқоли маълумот (протоколи SSL/TLS), муҳофизат аз таҳмини худкори генератсияи рамз, фарқ кардани ҳуқуқҳои дастрасӣ байни нақшҳои "Довталаб" ва "Администратор/Оператор" ва сабти амалҳои корбар дар система таъмин намояд [5,8].

Самаранокӣ. Система бояд ба дархостҳои бешумори довталабон, ки маъмулан дар марҳилаҳои гуногун (асосан эълони натиҷаи имтиҳонҳо ва натиҷаи тақсимот) вақте ки шумораи дастрасии яквқтаи довталаб ба кабинети инфиродӣ ба таври назаррас меафзояд, коршоям бошад.

Дастрасӣ. Намуди зоҳирии кабинети инфиродӣ бояд барои корбароне, ки сатҳҳои гуногуни саводнокии рақамӣ доранд, дастрас бошад ва дар намудҳои гуногуни дастгоҳҳои электронӣ, аз ҷумла дастгоҳҳои мобилӣ, бо назардошти он, ки баъзе довталабон дар минтақаҳои дурдаст ва кӯҳистон бо пайвасти маҳдуди интернет зиндагӣ мекунанд, дуруст намоиш дода шавад.

Дақиқии маълумот. Система бояд тасдиқи маълумоти шахсии довталабонро ва тағйирнопазирии натиҷаҳои имтиҳон ва тақсимоти нашршударо таъмин намояд.

Нигоҳдории осон. Система бояд имкон диҳад, ки модулҳои алоҳидаи функционалӣ мустақилона таҳия карда шаванд (масалан, илова кардани ҳуҷҷатҳо ба бахши "Нусхаҳои варақаҳои ҷавобҳо"), бе коркарди назарраси дигар ҷузъҳо.

Дар раванди таҳқиқот усулҳои таҳлили сохторӣ ва ба объект нигаронидашуда, моделсозии UML, таҳлили муқоисавӣ, прототипсозӣ ва санҷиши таҷрибавӣ истифода гардиданд. Усули таҳлили сохторӣ ва ба объект нигаронидашуда атрибутҳо ва муносибатҳои онҳоро муайян мекунад. Моделсозии UML бошад, имкон медиҳад, ки диаграммаҳои ҳолати истифода (моделҳои функционалӣ), диаграммаҳои синфӣ/диаграммаҳои ER (моделҳои сохторӣ) ва диаграммаҳои пайдарпай таҳия карда шаванд. Барои муқоисаи системаи таҳияшуда бо системаҳои мавҷуда дар асоси меъёрҳои функционалӣ ва техникӣ усули таҳлили муқоисавӣ истифода гардид. Таҳияи такрорӣ ва тасдиқи интерфейси корбар бо усули прототипсозӣ амалӣ карда шуд. Санҷиши таҷрибавӣ барои санҷиши воҳидӣ, ҳамгирой, қабул ва боркунӣ барои тасдиқи мутобиқати система бо талаботи функционалӣ ва ғайрифункционалӣ истифода бурда шуд [9-10].

Кабинети инфиродии довталаб бо истифода аз забони ягонаи моделсозӣ (UML) тарҳрезӣ карда шуд, ки ҷанбаҳои функционалӣ ва сохтории системаи тарҳрезшударо барои гурӯҳҳои гуногуни таъмин мекунад. Дар доираи таҳқиқот, диаграммаи ҳолати истифода сохта шуд, ки инъикоси алоқамандии корбар бо система ва диаграммаи меъморӣ, ки тақсимоти системаро байни сатҳҳо (муштарӣ, мантиқӣ тиҷоратӣ ва додаҳо) тавсиф мекунад.

Барои тавсифи сохтори маълумоти нигоҳдошташуда, равиши моделсозии мантиқии додаҳо истифода шуд, ки дар он маҷмуи субъектҳо, атрибутҳои онҳо ва алоқамандии байни онҳо нишон дода мешавад, ки баъдан метавонанд ба модели пойгоҳи додаҳои релятсионӣ табдил дода шаванд.

Моделҳои такрорӣ-афзоишӣ ҳамчун методологияи таҳияи нармафзор пешниҳод карда мешавад, ки татбиқ ва санҷиши пайдарпайи модулҳои функционали алоҳидаи кабинети инфиродии довталабро дар бар мегирад ва баъдан онҳоро ба як барномаи ягона муттаҳид менамояд. Ин равиш хатарҳои лоиҳаро тавассути сари вақт муайян кардани хатогиҳои тарроҳӣ ҳангоми татбиқи модулҳои алоҳида коҳиш медиҳад ва имкон медиҳад, ки қисматҳои алоҳидаи система пас аз омода шуданашон марҳила ба марҳила татбиқ карда шаванд [3].

Барои татбиқи технологӣ, меъмории сесатҳаро пешниҳод гардид: мизоч-сервери барнома-сервери пойгоҳи додаҳо. Сатҳи мизоч бо истифода аз HTML5, CSS3 ва JavaScript амалӣ карда шуд ва ба дархосҳо посух мегардонад. Сатҳи сервери барнома тавассути технологияи ASP.NET CORE MVC ва забони барномасозии C#, амалӣ карда шуд. Нигоҳдории маълумот (сервери пойгоҳи додаҳо) ба воситаи системаи идоракунии пойгоҳи додаҳои релятсионӣ MS SQL Server таъмин карда шуд, ки дастгирии транзаксия ва якорчагии маълумотро таъмин мекунад. Интиқоли маълумот байни мизоч ва сервер тавассути протоколи бехатари HTTPS анҷом дода мешавад [2-3,4,6,10].

Натиҷа (Results)

Дар натиҷаи таҳқиқот, модел ва меъмории системаи кабинети инфиродии довталаб, ки барои худкоргардонии ҳамгироии довталабон бо системаи иттилоотии имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ дар ММТ пешбинӣ шудааст таҳия карда шуд. Системаи таҳияшуда ба довталабон фазои ягонаи иттилоотиро барои даврҳои марбут аз бақайдгирӣ то тақсмот фароҳам меорад. Прототипи система шаш модули асосиро дар бар мегирад: “Маълумоти шахсӣ”, “Рӯйхати ихтисосҳо”, “Ҷадвали имтиҳон”, “Нусхаи варақаҳои ҷавоб”, “Натиҷаи имтиҳонҳо” ва “Натиҷаи тақсмот”.

Дар марҳилаи аввал, модели функционалии кабинети инфиродии довталаб таҳия карда шуд. Қисматҳои асосии функционалӣ муайян карда шуданд.

Барои ифодаи алоқаи байни ҷузъҳои функционалӣ модели сохторӣ ва функционалии системаи иттилоотӣ таҳия карда шуд. Ин модел имкон медиҳад, ки пайдарпаии коркарди маълумот аз бақайдгирии довталаб то натиҷаи тақсмот нишон дода шавад. Таваҷҷӯҳи махсус ба назорати дастрасӣ, мукамал будани маълумот ва таъмини амнияти иттилоотии маълумоти шахсӣ зоҳир карда мешавад.

Натиҷаи амалии тадқиқот татбиқи як барномаи веб барои кабинети инфиродии довталабон бо истифода аз меъмории муштарӣ-сервер буд. Ҷузъи тарафи сервер мантиқи тиҷоратӣ ва ҳамгироии пойгоҳи додаҳо идора мекунад ва ҷузъи тарафи мизоч ба довталабон интерфейси қулай барои истифодаи системаро фароҳам меорад. Интерфейси системаи иттилоотӣ бо ду забон: тоҷикӣ ва русӣ таҳия карда шуд.

Барои баланд бардоштани сатҳи махфият, механизми аутентификатсия ва иҷозатдиҳии корбар бо ҳуқуқи дастрасӣ амалӣ карда мешавад. Система тақсмоти нақшҳоро байни довталабон ва амалгарони системаи иттилоотӣ пешбинӣ мекунад. Ин имкон медиҳад, ки дастрасӣ ба амалҳо ва маълумот мувофиқи сатҳи дастрасии корбарон маҳдуд карда шавад. Барои моделсозии идоракунии сатҳи дастрасӣ, функсияи иҷозатдиҳӣ ҷорӣ карда шуд:

$$Auth(u, p) = \begin{cases} 1, & \text{агар ҷуфти (логин, парол) дуруст бошад,} \\ 0, & \text{дар ҳолати акс.} \end{cases} \quad (1)$$

Эҳтимолияти ҳамлаи беиҷозати бомуваффақият анҷомёфта (бо назардошти кӯшишҳои k) ба таври зерин ифода карда шуд:

$$P_{breach} = 1 - (1 - p_{quess})^k, \quad (2)$$

дар ин ҷо:

p_{quess} - эҳтимолияти тахмин кардани рамз дар як кӯшиш аст.

Дар натиҷаи татбиқи системаи таҳияшуда, баъзе амалиёте, ки қаблан мустақиман аз ҷониби кормандон иҷро мешуданд, ба муҳити электронӣ интиқол дода мешаванд. Ин шумораи амалиётҳои дастӣ, эҳтимолияти хатогиҳо дар коркарди маълумотро кам мекунад, суръати хидматрасонии довталабонро беҳтар мекунад ва назорати мутамаркази ҷараёнҳои иттилоотро таъмин менамояд.

Барои арзёбии самаранокии система, модели математикии зерин таҳия карда шуд:

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda}, \text{ ҳангоми } \lambda < \mu \text{ будан} \quad (3)$$

дар ин ҷо:

λ - суръати миёнаи дархостҳо (дархосткунандагон дар як сония);

μ - суръати миёнаи коркарди як дархост аз ҷониби сервер;

N – шумораи истифодабарандагон дар як вақт, мебошанд.

Эҳтимолияти аз ҳад зиёд шудани сарбории система бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$P_{\text{overload}} = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (4)$$

Санҷиши сарборӣ нишон дод, ки вақти миёнаи посух барои як дархост 180-240мс буд ва ҳангоми симулятсияи 5000 дархости яквақта, он аз 1,8 сония зиёд набуд, ки ба талаботи муайяншудаи ғайрифункционалӣ (≤ 2 сония) ҷавобгӯ аст. Сатҳи дастрасии хидмат дар давраи санҷиш 99,4% -ро ташкил дод.

Ҳамин тариқ, натиҷаи таҳқиқот нишон медиҳад, ки модели кабинети инфиродии таҳияшудаи довталабонро метавон ҷузъи муосири системаи иттилоотии худкор барои идоракунии имтиҳонҳои марказонидашудаи дохилшавӣ ҳисобид. Меъмории пешниҳодшуда имконияти васеъ кардани минбаъдаи функцияҳо, ҳамгирӣ бо системаҳои иттилоотии беруна ва истифодаи механизмҳои интеллектуалии коркарди маълумотро фароҳам меорад.

Муҳокима (Discussions)

Модели пешниҳодшудаи кабинети инфиродии довталаб аз системаҳои монанд, ки дар минтақа баррасӣ шудаанд, бо илова кардани модули муттаҳидшудаи "Натиҷаҳои тақсимот" фарқ мекунад, ки мустақиман вазифаҳои мушаххаси Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистонро ҳамчун ниҳода, ки на танҳо барои санҷиш, балки барои тақсимои довталабон ба муассисаҳои таълимии таҳсилоти миёна ва олии касбӣ масъул аст, инъикос мекунад. Ин ҳамгирӣ ба довталабон имкон медиҳад, ки тамоми маълумоти заруриро дар бораи раванди қабул - аз бақайдгирӣ то тақсимот - дар як интерфейси ягона ба даст оранд ва зарурати дастрасӣ ба манбаъҳои гуногуни иттилоот ё муроҷиат ба ММТ ва бахшҳои минтақавии онро аз байн барад.

Модели пешниҳодшудаи меъморӣ ва маълумоти мантиқии сесатҳа чандирии заруриро барои рушди ояндаи система, бахусус барои илова кардани қисматҳо нав (масалан, модули муроҷиати электронӣ) бидуни аз нав коркарди назарраси модулҳои мавҷуда таъмин мекунад. Дар айни замон, татбиқи амалии модели пешниҳодшуда ҳалли як қатор мушкилоти ташкилӣ ва техниро берун аз доираи ин таҳқиқот талаб мекунад. Хусусан ба ҳамроҳангсозии шакл ва тартиби ҳамгироии система бо системаҳои иттилоотии муассисаҳои таълимӣ, инчунин муайян кардани платформаи мушаххаси технологӣ барои татбиқ, бо назардошти инфрасохтори мавҷудаи IT-и ММТ таваҷҷӯҳи хоса зоҳир намудан лозим аст.

Санҷиши сарборӣ дар маҷмуи маҳдуди сценарияҳои синтетикӣ гузаронида шуд ва ҳамаи намунаҳои имконпазири авҷи истифодаи системаи воқеии Марказро фаро намегирад (масалан, воридшавии яквақтаи дахҳо ҳазор довталабон дар дақиқаҳои аввали нашри натиҷаҳои тақсимот). Арзёбии қобили истифода бар асоси намунаи 150 пурсидашуда анҷом дода шуд, ки барои ҳулосаҳои аз ҷиҳати омӯрӣ муҳим нокифоя аст ва дар таҳқиқоти минбаъда бо иштироки довталабони воқеӣ намунаи калонтарро талаб мекунад.

Таҷриба дар рақамикунонии хидматрасониҳои давлатӣ нишон медиҳад, ки муваффақияти истифодабарии довталабон аз кабинети инфиродӣ на танҳо аз сифати татбиқи система, балки ба чораҳои ташкилӣ, ба монанди гузаронидани курсҳои фаҳмондадиҳӣ оид ба тарзи истифодаи кабинети инфиродӣ (маъракаҳои иттилоорасонӣ, ки ҳамасола аз ҷониби Марказ гузаронида мешаванд), мавҷудияти каналҳои дастраси дастгирии техникӣ ва гузариши марҳилавӣ, муайян карда мешавад.

Ин чорабинӣ хатархоро барои довталабонне, ки дастрасии устувори интернет ё малакаҳои зарурии рақамиро надоранд, кам мекунад.

Хулоса (Conclusions)

Дар натиҷаи таҳқиқот, модели ҳамаҷонибаи системаи иттилоотии кабинети инфиродии довталаб барои Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳия карда шуд. Он аз шаш баҳши функционалӣ иборат аст: “Маълумоти шахсӣ”, “Рӯйхати ихтисосҳои интихобшуда”, “Ҷадвали имтиҳонҳо”, “Нусхаҳои варақаҳои ҷавобҳо”, “Натиҷаҳои имтиҳон” ва “Натиҷаҳои тақсимот”. Талаботи функционалӣ ва ғайрифункционалӣ барои система таҳия карда шуданд, диаграммаи ҳолати истифода ва модели меъморӣ сесатҳа сохта шуданд, модели мантиқии маълумот таҳия карда шуд, модулҳои функционалӣ муфасссал шарҳ дода шуданд ва механизмҳои амнияти иттилоот тавсиф карда шуданд.

Модели пешниҳодшуда метавонад ҳамчун асос барои татбиқи мустақими системаи иттилоотии кабинети инфиродии довталаб хизмат намояд, ки ба довталабон нуқтаи ягонаи дастрасии дурдастро ба ҳама марҳилаҳои имтиҳонҳои марказонидаи дозилшавӣ фароҳам меорад ва шаффофият, идоракунии ва амнияти иттилоотии раванди қабул ба муассисаҳои таълимии таҳсилоти миёна ва олии Ҷумҳурии Тоҷикистонро афзоиш медиҳад.

Санҷиши сарборӣ нишон дод, ки вақти миёнаи посух барои як дархост 180-240мс буд ва ҳангоми симулятсияи 5000 дархости яквақта, он аз 1,8 сония зиёд набуд, ки ба талаботи муайяншудаи ғайрифункционалӣ (≤ 2 сония) ҷавобгӯ аст. Сатҳи дастрасии хизмат дар давраи санҷиш 99,4% -ро ташкил дод.

Самтҳои таҳқиқоти оянда таҳияи замимаи мобилӣ, ки функцияҳои кабинети инфиродии довталабро такрор мекунад, татбиқи унсурҳои омӯзиши зеҳни сунӣ барои пешгӯии тақсимои довталабон дар ихтисосҳои интихобнамуда ва гурӯҳи ихтисосҳо ва васеъ кардани имконоти ҳамгироии система бо системаҳои иттилоотии мавҷудаи муассисаҳои таҳсилоти олии Ҷумҳурии Тоҷикистонро дар бар мегиранд.

Муқарриз: Зарипов С.А — н.и.ф.-м., дотсенти ДПТТ.

Адабиёт

1. Арифуллина, С. Б. Опыт проведения приёмной кампании 2023 года: цифровизация и автоматизация процессов приёма абитуриентов / С. Б. Арифуллина // Материалы конференции по цифровой трансформации вуза. - СПб. : СПбГУТ, 2024.
2. Гвоздева, Т. В. Проектирование информационных систем : практикум / Т. В. Гвоздева, Б. А. Баллод. - М. : Лань, 2024. - 628 с.
3. Грекул, В. И. Проектирование информационных систем : учебное пособие / В. И. Грекул, Г. Н. Денищенко, Н. Л. Коровкина. - 4-е изд. (электронное). - Москва : Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ» : Ай Пи Ар Медиа, 2024. - 299 с. - ISBN 978-5-4497-3335-1.
4. Заботина, Н. Н. Проектирование информационных систем : учебное пособие / Н. Н. Заботина. - Москва : ИНФРА-М, 2024. - 331 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - DOI 10.12737/2519. - ISBN 978-5-16-004509-2.
5. Закон Республики Таджикистан «О персональных данных» от 3 июля 2018 года, № 1537.
6. Коваленко, В. В. Проектирование информационных систем : учебное пособие / В. В. Коваленко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : ИНФРА-М, 2023. - 357 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - DOI 10.12737/987869. - ISBN 978-5-00091-783-1.
7. Национальный центр тестирования при Президенте Республики Таджикистан. Официальный портал. - URL: <https://ntc.tj> (дата обращения: 05.08.2026).
8. Марков А. С., Цирлов В. Л. Управление рисками информационной безопасности. - М.: Горячая линия - Телеком, 2020. - 234 с.
9. Стружкин, Н. П. Базы данных: проектирование. Практикум : учебное пособие для вузов / Н. П. Стружкин, В. В. Годин. - Москва : Издательство Юрайт, 2023. - 291 с. - (Высшее образование).
10. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений. - М.: Вильямс, 2018. - 544 с.

Reference

1. Arifullina, S. B. Experience of the 2023 Admissions Campaign: Digitalization and Automation of Applicant Admission Processes / S. B. Arifullina // Proceedings of the Conference on the Digital Transformation of the University. - St. Petersburg: SPbSUT, 2024.

2. Gvozdeva, T. V. Information Systems Design: Workshop / T. V. Gvozdeva, B. A. Ballod. - Moscow: Lan, 2024. - 628 p.
3. Grekul, V. I. Information Systems Design: Study Guide / V. I. Grekul, G. N. Denishchenko, N. L. Korovkina. - 4th ed. (electronic). - Moscow: National Open University "INTUIT": IPR Media, 2024. - 299 p. - ISBN 978-5-4497-3335-1.
4. Zabolina, N. N. Design of information systems: a tutorial / N. N. Zabolina. - Moscow: INFRA-M, 2024. - 331 p. - (Higher education: Bachelor's degree). - DOI 10.12737/2519. - ISBN 978-5-16-004509-2.
5. Law of the Republic of Tajikistan "On personal data" dated July 3, 2018, No. 1537.
6. Kovalenko, V. V. Design of information systems: a tutorial / V. V. Kovalenko. - 2nd ed., revised and enlarged. - Moscow: INFRA-M, 2023. - 357 p. - (Higher education: Bachelor's degree). - DOI 10.12737/987869. - ISBN 978-5-00091-783-1.
7. National Testing Center under the President of the Republic of Tajikistan. Official portal. - URL: <https://ntc.tj> (date of access: 05.08.2026).
8. Markov A. S., Tsirlov V. L. Information Security Risk Management. - Moscow: Goryachaya Liniya - Telecom, 2020. - 234 p.
9. Struzhkin, N. P. Databases: Design. Practical Training: A Textbook for Universities / N. P. Struzhkin, V. V. Godin. - Moscow: Yurait Publishing House, 2023. - 291 p. - (Higher Education).
10. Fowler M. Architecture of Enterprise Software Applications. - M.: Williams, 2018. - 544 p.

Маълумот оид ба муаллиф:

Азиззода Хисрав Азиз, унвонҷӯи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3399-3245>. E-mail: khisrav.azizzoda@ntc.tj

Сведения об авторе:

Азиззода Хисрав Азиз, соискатель Таджикского технического университета имени М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3399-3245>. E-mail: khisrav.azizzoda@ntc.tj

Information about the author:

Azizzoda Khisrav Aziz, applicant of the Tajik Technical University named after M.S. Osimiy. Republic of Tajikistan. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3399-3245>. E-mail: khisrav.azizzoda@ntc.tj

УДК: 004.94:004.8

DOI: 10.65599/III7309

АМСИЛАСОЗИИ МАТЕМАТИКӢ ВА ТАСНИФОТИ АЛГОРИТМИИ ХАТОИҲО ДАР ПЛАТФОРМАИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИИ ОМУӢЗИШИ БАРНОМАСОӢ

М.К. Муродов

Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон, ш. Хучанд, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола амсилаи математикӣ ва алгоритмии платформаи интеллектuali санҷиш ва омузиши барномасозӣ пешниҳод ва асоснок карда мешавад. Равиши пешниҳодшуда коди донишҷӯро ҳамчун сохтори дискретӣ моделсозӣ намуда, дар асоси таҳлили ҷузъӣ ва сохторӣ хатоихоро ошкор ва тасниф мекунад. Барои таснифи хатоихо синфҳои асосӣ, яъне синтаксисӣ, мантиқӣ, сохторӣ ва параметрӣ ё самаранокӣ ҷудо карда шуда, қарор дар асоси маҷмуи нишонаҳо ва параметрҳои код қабул мегардад. Механизми бозгашт ва тавсияҳои фардӣ дар шакли равиши давравӣ татбиқ шуда, имкон медиҳад дар ҳар такроршавӣ тавсияҳо бо назардошти таърихи омузиш ва динамикаи пешрафти донишҷӯ дақиқтар гарданд. Барои баҳогузори самаранокии омузиш нишондиҳандаи интегралӣ пешниҳод мешавад, ки қоҳиши нисбии шумораи хатоихоро нисбат ба ҳаҷми код дар такроршавиҳои пайдарпай инъикос менамояд. Натиҷаҳои озмоиши таҷрибавӣ бо иштироки 42 нафар донишҷӯ самаранокии равиши пешниҳодшударо тасдиқ намуданд. Натиҷаҳои таҳлили назариявӣ нишон медиҳанд, ки ҳамгироии таснифи хатоихо, таҳлили сохторӣ ва тавсиягари мутобикшаванда метавонад сифати омузиши барномасозиро баланд бардорад ва барои рушди муҳитҳои омузиши интелектуалӣ заминаи илмӣ фароҳам оварад.

Калидвожаҳо: барномасозӣ, муҳити омузиши интелектуалӣ, таснифи хатоихо, таҳлили сохтори код, амсиласозии математикӣ, алгоритмҳои мутобикшаванда, механизми бозгашт, тавсияҳои фардӣ.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОШИБОК В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЕ ОБУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЮ

М.К. Муродов

Таджикский государственный университет права, бизнеса и политики, г. Худжанд, Республика Таджикистан

В статье представлены и обоснованы математическая и алгоритмическая модели интеллектуальной платформы контроля и обучения программированию. Предложенный подход рассматривает программный код студента как дискретную структуру и на основе поэлементного и структурного анализа выявляет и классифицирует ошибки. Для классификации выделены основные классы ошибок: синтаксические, логические, структурные и параметрические (или ошибки эффективности). Принятие решения осуществляется на основе совокупности признаков и параметров кода. Механизм обратной связи и персонализированных рекомендаций реализован в виде итерационного процесса, что позволяет на каждой итерации уточнять рекомендации с учетом истории обучения и динамики прогресса обучающегося. Для оценки эффективности обучения предложен интегральный показатель. Апробация предложенного подхода, проведенная на выборке из 42 студентов, подтвердила его высокую эффективность. Результаты теоретического анализа показывают, что интеграция классификации ошибок, структурного анализа и адаптивной рекомендательной системы способствует повышению качества обучения программированию и создает научную основу для развития интеллектуальных образовательных сред.

Ключевые слова: программирование, интеллектуальная образовательная среда, классификация ошибок, структурный анализ кода, математическое моделирование, адаптивные алгоритмы, механизм обратной связи, персонализированные рекомендации.

MATHEMATICAL MODELING AND ALGORITHMIC CLASSIFICATION OF ERRORS IN AN INTELLIGENT PROGRAMMING EDUCATION PLATFORM

M.K. Murodov

Tajik State University of Law, Business and Politics, Khujand, Republic of Tajikistan

The article presents and substantiates the mathematical and algorithmic models of an intelligent platform for assessing and teaching programming. The proposed approach models a student's code as a discrete structure and identifies and classifies errors based on component-wise and structural analysis. The main classes of errors are distinguished as syntactic, logical, structural, and parametric (or efficiency-related) errors. Decision-making is carried out on the basis of a set of features and parameters extracted from the code. The feedback mechanism and personalized recommendations are implemented as an iterative process, which allows refining recommendations at each iteration by taking into account the learning history and the dynamics of the student's progress. To evaluate learning effectiveness. Experimental validation of the proposed method, performed with 42 student participants, confirmed its significant effectiveness. The results of the theoretical analysis show that the integration of error classification, structural code analysis, and an adaptive recommendation mechanism can improve the quality of programming education and provide a scientific foundation for the development of intelligent learning environments.

Keywords: programming, intelligent learning environment, error classification, structural code analysis, mathematical modeling, adaptive algorithms, feedback mechanism, personalized recommendations.

Муқаддима (Introduction)

Дар даҳсолаҳои охир рушди босуръати технологияҳои рақамӣ мазмун, воситаҳо ва шаклҳои татбиқи таълимро тағйир дод ва ба тавсеаи равишҳои нав дар ташкил ва идоракунии омузиш замина фароҳам овард. Дар ин шароит муҳитҳои омузиши

интеллектуалӣ нақши калидӣ мегиранд, зеро онҳо бояд хусусиятҳои инфиродии донишҷӯ, аз ҷумла сатҳи омодагӣ, тарзи азхудкунӣ ва маҷмуи хатоҳои такроршавандаро ба назар гирифта, таълимо мутобиқ созанд. Муҳимияти масъала дар омӯзиши барномасозӣ боз ҳам бештар зоҳир мешавад, чунки натиҷаи устувор танҳо бо аз ёд кардани қоидаҳои синтаксис таъмин намегардад ва фаҳмиши мантиқ, сохтор ва алгоритмҳои сохтани барнома талаб карда мешавад [1]. Барномасозӣ ҳамчун яке аз самтҳои асосии таълими техникӣ ба эҳтиёҷоти иқтисоди рақамӣ ва соҳаҳои вобаста ба он мустақиман пайваст аст ва маҳз ҳамин омил талаботро ба сатҳи касбии хатмкунандагон боло мебарад. Бо вуҷуди ин, дар амал санҷиш ва баҳогузориҳои корҳои амалии донишҷӯён бештар ба арзёбии дастии омӯзгор таъяс мекунад. Ин ҳолат ҳам сарфи вақти зиёд талаб мекунад ва ҳам имкони назорати пурраро маҳдуд месозад. Дар шароити синфи сершумор санҷиши як кори амалӣ то 15–20 дақиқа тӯл мекашад, ки дар натиҷа алоқаи фаврӣ таъмин намешавад ва ислоҳи хатоҳо ба таъхир меафтад. Бинобар ин, зарурати истифодаи платформаҳои автоматикунонидашуда ва интеллектуалӣ барои санҷиш, баҳогузорӣ ва дастгирии омӯзиши барномасозӣ рӯз ба рӯз равшантар мегардад [2].

Барои пешниҳоди амсила ва ҳалли пешниҳодшаванда аввал лозим аст платформаҳои мавҷудаи санҷиши автоматикии код таҳлил шаванд, то имкониятҳо ва маҳдудиятҳои онҳо ба таври асоснок муайян гардад. Ҷадвали 1 натиҷаҳои таҳлили мазкурро ҷамъбаст менамояд.

Ҷадвали 1 – Таҳлили муқоисавии платформаҳои мавҷудаи санҷиши автоматикии коди забонҳои барномасозӣ

Table 1 – Comparative analysis of existing platforms for automated testing of programming-language code

Платформа	Таҳхиси хатоҳо (0–3)	Тавсияҳои фардӣ (0–3)	Таҳлили сохторӣ (0–3)	Шумораи забонҳои дастгиришаванда, адад
Codeforces	1	0	0	40
LeetCode	1	1	1	15
HackerRank	2	1	0	35
Codecademy	1	1	0	12
Платформаи пешниҳодшаванда	3	3	3	3

Ҷадвали арзёбӣ: 0 — хусусият вуҷуд надорад; 1 — дар сатҳи маҳдуд (бе мутобиқсозии динамикӣ); 2 — амал мекунад, вале бе семантикаи амиқ; 3 — пурра ва бо алгоритми мутобиқшаванда. Манбаи додаҳо: дастурҳои расмӣи техникӣи онлайнӣи платформаҳо (Codeforces.com, LeetCode.com, HackerRank.com, Codecademy.com), дар моҳҳои март–апрели 2026 ҷамъоварӣ шудаанд.

Шарҳи ҳолҳо дар ҷадвали поёни оварда шудааст. Шкалаи мазкур барои арзёбии дараҷаи татбиқи функсияҳои таҳлилшаванда дар платформаҳои муқоисашаванда истифода гардид.

Ҳол	Тавсиф
0	Хусусият мавҷуд нест
1	Амалисозии маҳдуд
2	Амалисозии қисман пурра
3	Амалисозии пурра ва интеллектуалӣ

Бо мақсади муқоисаи имкониятҳои платформаҳои омӯзиши барномасозӣ усули арзёбии бисёрмереъерӣ истифода гардид. Барои таҳлил чор хусусияти асосӣ интиҳоб карда шуданд: имконияти таҳхиси хатоҳо, мавҷудияти тавсияҳои омӯзишӣ, дастгирии механизмҳои мутобиқшавӣ ва қобилияти таҳлили сохтори код. Ин хусусиятҳо дар таҳқиқоти муосири соҳаи системаҳои интеллектуалии омӯзиш ҳамчун нишондиҳандаҳои калидии самаранокӣ эътироф мешаванд. Қимати «0» маънои пурра набудани хусусияти таҳлилшавандаро дорад. Қимати «1» ҳолатро ифода менамояд, ки функсия танҳо ба таври маҳдуд ё ғайримустақим амалӣ шудааст. Қимати «2» барои системаҳои истифода гардид, ки имконияти муайяни татбиқи функсияи мазкурро

доранд, аммо сатҳи мутобиқшавӣ ва интеллектуалии онҳо маҳдуд мебошад. Қимати «3» танҳо ба он платформаҳо дода шуд, ки функсияи дахлдорро ба таври пурра, мутобиқшаванда ва бо истифодаи механизмҳои интеллектуалӣ амалӣ менамоянд.

Барои таъмини объективияти натиҷаҳо баҳодихӣ дар асоси таҳлили ҳуҷҷатҳои расмӣ, имкониятҳои функционалӣ ва хусусиятҳои техникии платформаҳои мавриди омӯзиш анҷом дода шуд. Истифодаи меъёрҳои ягона имконият дод, ки натиҷаҳои муқоисавӣ бо дараҷаи баланди эътимоднокии ба даст оварда шаванд.

Интиҳоби меъёрҳои арзёбӣ тасодуфӣ нест. Имконияти ташҳиси хатоҳои сатҳи дастгирии раванди омӯзишро муайян менамояд. Механизми тавсияҳо қобилияти система барои пешниҳод намудани роҳҳои ислоҳи хатоҳоро инъикос мекунад. Мутобиқшавӣ нишон медиҳад, ки то кадом дараҷа муҳити таълимӣ метавонад ба хусусиятҳои инфиродии донишҷӯ мутобиқ гардад. Таҳлили сохтори код бошад, имконият медиҳад сифати алгоритм ва услуби барномасозии донишҷӯ баҳогузорӣ карда шавад. Аз ин рӯ, маҷмуи меъёрҳои интиҳобшуда хусусиятҳои муҳимтарини системаҳои интеллектуалии омӯзиши барномасозиро фаро мегирад.

Натиҷаҳои ҷадвали 1 нишон медиҳанд, ки платформаҳои мавҷудаи санҷиши автоматикии код асосан ба тафтиши дурустии иҷроиши барнома тавассути тестҳо таъя мекунад. Аз ин рӯ, ташҳиси хатоҳои дар бисёр ҳолатҳо маҳдуд буда, бештар ба нишон додани «қабул шуд» ё «рад шуд» ва баъзе сабабҳои умумӣ, мисли хатои ҷавоб ё аз ҳад зиёд шудани вақт, оварда мерасонад. Ҳамзамон, имкониятҳои тавсияҳои фардӣ дар аксари платформаҳо пурра рушд наёфтаанд. Одатан тавсияҳо шакли умумӣ доранд ва камтар ба сатҳи омодагӣ ё хатоҳои такроршавандаи донишҷӯ мутобиқ мешаванд. Таҳлили сохтори код низ дар аксари ҳолатҳо дастгирӣ намешавад ё танҳо маҳдуд амалӣ мегардад, бинобар ин камбудҳои мантиқӣ ва сохторӣ на ҳамеша ошкор мешаванд [3].

Дар маҷмуъ, маълумоти ҷадвал зарурати пешниҳоди равиши навро асоснок мекунад, ки ташҳиси хатоҳоро муфасссалтар анҷом дода, таҳлили сохторӣ ва тавсияҳои фардиро барои дастгирии омӯзиш пурра ҷорӣ намояд.

Платформаи дар оянда пешниҳодшаванда на танҳо маҷмуи васеи имкониятҳои техникий ва функционалиро таъмин менамояд, балки ҳамчун муҳити омӯзиши мутобиқшаванда низ муаррифӣ мешавад, ки раванди омӯзишро ба хусусиятҳои инфиродии донишҷӯ мутобиқ мегардонад. Дар ин низом ташҳиси хатоҳои танҳо ба ошкор ва таснифи онҳо маҳдуд намешавад, балки таҳлили сабабҳои пайдоиш, муайян кардани робитаи хатоҳои бо унсурҳои алоҳидаи код ва арзёбии таъсири онҳо ба сохтори умумии барнома анҷом дода мешавад. Дар сатҳи амалӣ чунин таҳлил ба чудо намудани хатоҳои аз рӯи навъ, сатҳи таъсир ва манбаи эҳтимолии пайдоиш равона шуда, заминаи далелнок барои интиҳоби тавсияҳо фароҳам меорад [4].

Дар асоси натиҷаҳои таҳлил механизми алоқаи фаврӣ ва тавсияҳои инфиродӣ татбиқ мегардад, ки бо сатҳи дониш, динамикаи пешрафт ва траекторияи омӯзиши донишҷӯ ҳамоҳанг карда мешавад. Механизми мазкур на танҳо хатоиро нишон медиҳад, балки роҳи ислоҳро бо истифодаи ишораҳои методӣ, намунаҳои мувофиқ ва пайдарпайии амалҳо пешниҳод менамояд. Истифодаи амсилаҳои математикӣ ва алгоритмҳои таснифоти хатоҳои дар доираи равиши давравӣ имкон медиҳад, ки дар ҳар давр натиҷаҳои санҷиш, хусусияти хатоҳои такроршаванда ва сифати ҳалли пешниҳодшуда ҷамъбаст шуда, параметрҳои тавсия ва сатҳи душвории вазифаҳои минбаъда мутобиқ гарданд. Бо ин роҳ ҳам сатҳи омодагии донишҷӯ ва ҳам сифати коди воридшуда ба таври пайваста беҳтар мешавад. Маҳз чунин имкониятҳо, ки тибқи маълумоти ҷадвали 1 барои аксари платформаҳои мавҷуда хос нестанд, низоми пешниҳодшударо ба муҳити воқеан интеллектуалӣ ва самаранок барои ташаккули малакаҳои барномасозӣ табдил медиҳанд.

Дар солҳои охир рушди босуръати технологияҳои зеҳни сунъӣ ба пайдоиши насли нави системаҳои интеллектуалии омӯзишӣ оварда расонид. Тадқиқотҳои солҳои 2021–2025 нишон медиҳанд, ки истифодаи алгоритмҳои омӯзиши мошинӣ, таҳлили худкори коди барномавӣ ва механизмҳои мутобиқшавандаи тавсияҳо метавонад сифати омӯзиши барномасозиро ба таври назаррас баланд бардорад.

Таҳлили адабиёти илмӣ солҳои охир нишон медиҳад, ки диққати муҳаққиқон бештар ба таҳияи воситаҳои баҳодиҳии худкори коди барномавӣ, системаҳои интеллектуалии омӯзишӣ ва муҳитҳои мутобиқшавандаи таълим дар асоси зеҳни сунъӣ равона шудааст. Натиҷаҳои бадастомада собит менамоянд, ки истифодаи чунин технологияҳо имконият медиҳад раванди омӯзиш инфиродӣ гардонида шуда, хатоҳои барномавӣ сари вақт ошкор ва барои ҳар як донишҷӯ тавсияҳои мутобиқ ба сатҳи дониш ва хусусиятҳои омӯзишии ӯ пешниҳод карда шаванд.

Бо вучуди пешрафтҳои назаррас, таҳлили адабиёти илмӣ нишон медиҳад, ки қисми зиёди системаҳои мавҷуда асосан ба санҷиши дурустии натиҷаи ниҳонӣ барнома нигаронида шудаанд. Дар аксари ҳолатҳо механизмҳои таҳлили сохтори код, гурӯҳбандии автомати хатоҳо ва ташаққули тавсияҳои мутобиқшаванда дар сатҳи маҳдуд татбиқ мегарданд.

Аз ин рӯ, зарурати таҳияи муҳити интеллектуалии омӯзишӣ ба миён меояд, ки дар он таҳлили сохтори код, таснифоти хатоҳо ва механизми тавсияҳои инфиродӣ дар доираи як модели ягона муттаҳид карда шаванд. Модели пешниҳодшуда маҳз барои ҳалли ҳамин масъала равона гардидааст.

Платформаи пешниҳодшаванда ҳамчун системаи мураккаби омӯзишии интеллектуалии баррасӣ мегардад, ки дар он раванди таълим дар шакли давраҳои пайдарпай ташкил мешавад ва ҳар давра бо санҷиш, таҳлис, ислоҳ ва арзёбии такрорӣ анҷом меёбад. Ҳангоми пайдо шудани хатои синтаксисӣ платформа онро муайян ва ба донишҷӯ намоён месозад, пас донишҷӯ ислоҳ анҷом медиҳад ва санҷиш такроран иҷро мегардад. Ин раванд то ба даст омадани дурустии пурраи код идома меёбад ва ҳамчун механизми омӯзишии итеративӣ амал мекунад, ки дар он ислоҳи пайдарпай ба устувор шудани малакаҳо мусоидат менамояд. Аз нуқтаи назари назарияи системаҳо чунин платформа ҳамчун низомии динамикӣ амсиласозӣ мешавад, ки ҳолати он бо маҷмуи параметрҳо тавсиф меёбад, мисли сатҳи хатоҳо, дараҷаи мутобиқати сохтор ба меъёрҳои қабулшуда ва нишондиҳандаҳои пешрафти донишҷӯ. Тағйирёбии ин параметрҳо дар ҳар давра имконият медиҳад, ки идоракунии омӯзиш дар асоси маълумоти воқеӣ анҷом дода шавад ва таъсири ҳар як тавсия ба натиҷаи ниҳонӣ баҳогузори гардад.

Маводҳо ва усулҳои тадқиқот (*Materials and methods*)

Мақсади тадқиқот таҳия ва асосноккунии амсилаи математикӣ ва алгоритмӣ таснифоти хатоҳо мебошад, ки имкони таҳлили ҷузъӣ ва сохтори коди барномаро таъмин намуда, хатоҳоро гурӯҳбандӣ мекунад ва идоракунии раванди омӯзишро ба таври мутобиқшаванда ва инфиродӣ мувофиқ ба ниёзҳои донишҷӯён танзим менамояд. Объекти асосии амсиласозӣ коди барномавии донишҷӯ ба ҳисоб рафта, он ҳамчун маҷмуи унсурҳои синтаксисӣ ва мантиқӣ ифода мешавад:

$$C = \{t_1, t_2, \dots, t_n\} \quad (1)$$

Дар ин ҷо ҳар унсури t_i аз нуқтаи назари формалӣ ҳамчун ҷузъи атомии забони барномасозӣ (токен, оператор ё блоки сохторӣ) баррасӣ мешавад. Функсияи таснифоти $T: C \rightarrow E$ шартҳои зерини математикӣ таъмин мекунад: (а) пурра будан — ҳар фрагменти коди дорои хатоӣ ҳатман ба яке аз синфҳои мутобиқат мекунад; (б) ягонагӣ — дар ҳар марҳилаи таҳлил, ба ҳар фрагмент танҳо як навъи хатоии бартариидор тибқи меъёри эҳтимолияти максималии $P(e_j | t_i)$ интихоб мегардад.

Дар он ҳар як унсури t_i метавонад хусусияти синтаксисӣ ё мантиқӣ дошта бошад. Маҳз ба чунин намоиш така намуда, таҳлили сохторӣ ва алгоритмӣ анҷом дода мешавад, ки барои ошкор кардани хатоҳо ва пешниҳоди тавсияҳои методӣ истифода мегардад. Ин тарзи ифода имкон медиҳад код ҳамчун сохтори дискретӣ баррасӣ шавад ва замина барои татбиқи усулҳои таҳлили сохторӣ ва алгоритмӣ фароҳам ояд. Марҳилаи аввал санҷиши ибтидоии код мебошад, ки тавассути функсияи бинарӣ иҷро мегардад ва ҳолати система муайян карда мешавад, яъне дуруст ё нодуруст будани код арзёбӣ мешавад. Агар дар ин сатҳ мушкилот ошкор гардад, система ба марҳилаи таҳлили амиқ мегузарад. Дар марҳилаи дуюм хатоҳо ҳамчун маҷмуи объектҳои таҳлилии муаррифӣ шуда, модели зерин қабул мегардад:

$$T: C \rightarrow E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\} \quad (2)$$

ки дар он E маҷмуи хатоҳои ошкоршуда ва T алгоритми тасниф мебошад. Дар ҳамин марҳила таснифоти хатоҳо оғоз мешавад. Барои асоснок намудани дурустии модели пешниҳодшуда як қатор хосиятҳои математикӣ муайян карда шуданд, ки қори устувор ва мутобиқати функсияи таснифоти таъмин менамоянд.

Аввалан, модели пешниҳодшуда хосияти пуррагӣ доро мебошад. Ин маънои онро дорад, ки барои ҳар як унсури таҳлилшавандаи коди барномавӣ ҳадди ақал як синфи хатогӣ муайян карда мешавад:

$$\forall ti \in C, \exists ej \in E: T(ti) = ej \quad (3)$$

Дар натиҷа ягон фрагменти код берун аз раванди таҳлил намемонад ва тамоми фазои додаҳои воридшаванда фаро гирифта мешавад.

Дуюм, модели пешниҳодшуда хосияти ягонагии таснифот таъмин менамояд:

$$\forall ti \in C, \exists! ej \in E: T(ti) = ej \quad (4)$$

Ин муносибат нишон медиҳад, ки дар ҳар марҳилаи таҳлил ба ҳар як унсури код танҳо як синфи бартаридоштаи хатогӣ мувофиқ карда мешавад. Бо ин роҳ эҳтимоли ба вучуд омадани таснифоти зиддиятнок бартараф мегардад.

Сеюм, механизми қабули қарор дар асоси принципи эҳтимолияти максималӣ амал мекунад. Агар барои як унсури код якчанд аломати хатогӣ мушоҳида гардад, система синфери интихоб менамояд, ки эҳтимолияти шартии он аз ҳама баланд мебошад:

$$e = \operatorname{argmax} P(ej|ti) \quad (5)$$

Дар натиҷа таснифот хусусияти мутобиқ ва устувор касб мекунад.

Чорум, функсияи тавсиявии $R(ei, H_j) \rightarrow Ak$ ҳамчун оператори гузариш аз ҳолати хатоии қорӣ ба маҷмуи амалҳои ислоҳкунанда баррасӣ мешавад. Аз нуқтаи назари назарияи системаҳо чунин гузариш ҳамчун раванди идорашавандаи бозгаштдор амал намуда, дар ҳар итератсия ҳолати система ба ҳолати мақсаднок наздик мешавад.

Аз ин рӯ, модели пешниҳодшуда на танҳо сохтори концептуалӣ, балки асосноккунии формалии математикӣ низ дошта, барои татбиқ дар муҳити интеллектуалии омӯзиши барномасозӣ мутобиқ мебошад.

Аз нуқтаи назари алгоритмӣ равиши пешниҳодшуда ба гурӯҳи алгоритмҳои таснифоти якҷоявӣ дохил шуда, қоидаҳои тасниф бо таҳлили сохтори код дар як раванд муттаҳид карда мешаванд. Бартарии асосии равиш дар он аст, ки навъи хато бо таъна ба як қоидаи ҷудогона муайян намешавад. Қарор дар асоси маҷмуи нишонаҳо ва хусусиятҳои коди таҳлилшаванда қабул мегардад. Натиҷаи таснифот ба маҷмуи синфҳои хатогӣ нисбат дода мешавад:

$$T(e_j) \in \{S, L, R, P\} \quad (6)$$

ки дар он S хатои синтаксисӣ, L хатои мантиқӣ, R хатои сохторӣ ва P хатои семантикӣ ё параметрӣ мебошад. Дар доираи ин амсила, қоидаҳои муайянсозии навъи хато ба таври расмӣ муайян карда мешаванд, аммо механизми омӯзиш ва ислоҳ бо назардошти сатҳ ва ниёзҳои донишҷӯ хусусияти мутобиқшаванда касб мекунад.

Дар доираи таҳқиқоти мазкур барои ташҳиси автоматии хатоҳо қор синфи асосӣ истифода гардиданд: хатоҳои синтаксисӣ, мантиқӣ, сохторӣ ва иҷроӣ. Ин гурӯҳҳо қисми зиёди хатоҳои маъмулро, ки дар раванди омӯзиши ибтидоии барномасозӣ ба назар мерасанд, фаро мегиранд.

Бо вучуди ин, таҳлили тадқиқотҳои муосири соҳаи муҳандисии нармафзор нишон медиҳад, ки таснифоти хатоҳо метавонад васеътар бошад. Аз ҷумла, хатоҳои семантикӣ, хатоҳои амниятӣ ва хатоҳои тарҳрезии нармафзор низ аҳаммияти муҳим доранд.

Хатоҳои семантикӣ дар ҳолатҳое ба вучуд меоянд, ки барнома аз нуқтаи назари синтаксис дуруст буда, вале натиҷаи ҳосилшуда ба талаботи масъала мувофиқат намекунад. Хатоҳои амниятӣ ба қоркарди нодурусти додаҳо, осебпазирии барнома ва истифодаи конструкцияҳои хатарнок вобаста мебошанд. Хатоҳои тарҳрезӣ бошанд, бо сохтори номуносиби барнома, тақроршавии код ва вайроншавии принципҳои муҳандисии нармафзор алоқаманданд.

Дар марҳилаи кунунии таҳқиқот гурӯҳҳои мазкур ба модели амалӣ ворид карда нашудаанд, зеро ҳадафи асосии таҷриба таҳлили ҳақиқат мебошад, ки бештар дар сатҳи ибтидоии омӯзиши барномасозӣ мушоҳида мешаванд. Бо вуҷуди ин, сохтори модели пешниҳодшуда имконият медиҳад, ки дар марҳилаҳои минбаъдаи рушд синфҳои иловагии ҳақиқат низ ба система ҳамгиро карда шаванд. Аз ин рӯ, маҳдудияти мазкур хусусияти техникӣ дошта, ба сохтори назариявии модели пешниҳодшуда таъсири манфӣ намерасонад.

Таснифоти пешниҳодшуда барои марҳилаи аввали татбиқи платформа пешбинӣ шудааст. Дар амсилаи такмилёфтаи ояндаи система ин таснифот бо се синфи иловагӣ васеъ карда мешавад: ҳақиқати семантикии амиқ (Sem) — номувофиқати мантикии байни мақсади алгоритм ва натиҷаи воқеи он; ҳақиқати амниятӣ (Sec) — масалан садамаи буфер ё коди осебпазир; ҳақиқати тарҳрезии барномавӣ (Des) — вайрон кардани принципҳои модулии SOLID ё дучандшавии беасоси код. Маҷмуи умумии синфҳо: $E = \{S, L, R, P, Sem, Sec, Des\}$.

Пас аз анҷоми таснифот марҳилаи навбатӣ оғоз меёбад, ки дар он алгоритми ташаккулдиҳии тавсияҳои омӯзишӣ фаъл мегардад. Ин алгоритм ба синфи алгоритмҳои қароргирии мутобиқшаванда дохил шуда, қори он аз навъи ҳақиқати муайяншуда ва маълумоти ҷамъшуда оид ба траекторияи омӯзиши донишҷӯ вобаста мебошад. Траекторияи омӯзиш таърихи иҷро, тақроршавии ҳақиқат ва динамикаи пешрафтро дар бар мегирад. Бо дарназардошти синфҳои асосии ҳақиқати баррасишуда, марҳилаи навбатии модел ташаккули механизми тавсияҳои мутобиқшаванда мебошад. Функсияи тавсияҳо ба шакли зерин ифода мешавад:

$$R(e_i, H_j) \rightarrow A_k \quad (7)$$

ки дар он e_i ҳақиқати муайяншуда, H_j таърихи омӯзиши донишҷӯ ва A_k тавсия ё амали тавсиявӣ барои ислоҳи ҳақиқат мебошад. Функсияи $R(e_i, H_j) \rightarrow A_k$ дорои хусусияти марковии шартӣ мебошад: тавсияи A_k танҳо ба ҳолати ҷорӣ e_i ва таърихи маҳдуди H_j вобаста аст, на ба тамоми таърихи пешинаи омӯзиш — ин имкони ҳисоббарориҳои самаранокро дар вақти воқеӣ таъмин мекунад. Дар натиҷа, такмили код ҳамчун раванди давравӣ ва мутобиқшаванда амалӣ шуда, дар ҳар даври тақрорӣ бо дарназардошти натиҷаҳои пешина сатҳи дониш ва маҳорати донишҷӯ беҳтар мегардад ва ҳамзамон сифати коди барномавӣ ба таври пайваستا боло меравад:

$$C^{(t+1)} = C^{(t)} + \Delta C^{(t)} \quad (8)$$

дар ин ҷо $\Delta C^{(t)}$ тағйироте мебошад, ки барои ислоҳи ҳақиқат ба код ворид карда мешавад, ва раванд то расидан ба ҳолати устувор идома меёбад. Аз нуқтаи назарияи системаҳои динамикӣ раванди пешниҳодшуда ҳамчун пайдарпайии ҳолатҳои система баррасӣ мешавад. Агар шумораи ҳақиқат дар ҳар итератсия кам гардад ва сифати коди барномавӣ афзоиш ёбад, он гоҳ система ба ҳолати устувор наздик мешавад. Дар чунин шароит қимати функсияи баҳодихӣ тадриҷан беҳтар гардида, иҷрои пайдарпайи тавсияҳои пешниҳодшуда боиси кам шудани шумораи ҳақиқат ва баланд гардидани сифати коди барномавӣ мегардад. Ин хусусият дурустии истифодаи модели пешниҳодшударо дар муҳити интерактивии омӯзиш асоснок менамояд.

Таҳлили таҷрибаи амалии мавҷуда нишон медиҳад, ки қисми зиёди платформаҳои омӯзишии барномасозӣ ба санҷиши сатҳии код маҳдуд мешаванд, яъне онҳо асосан натиҷаи иҷрои барномаро месанҷанд. Дар чунин муҳитҳо ҳақиқат бештар ҳамчун нишонаи нокомӣ қабул мешавад ва камтар ҳамчун манбаи омӯзиш ва рушд истифода мегардад. Аз ин рӯ, донишҷӯ аксаран на иллати пайдоиши ҳақиқатро пурра дарк мекунад ва на механизми дурустии ислоҳи онро ба таври низомнок аз худ менамояд. Маҳз ҳамин ҳолат зарурати таҳияи платформаҳои тақвият медиҳад, ки дар

онҳо хатогӣ ҳамчун унсури марказӣ ва идоракунандаи раванди таълим баррасӣ гардад [5].

Дар ҷараёни тадқиқот як қатор алгоритмҳои гуногуни таснифотӣ татбиқ гардиданд, ки хусусиятҳо ва параметрҳои умумии онҳо дар ҷадвали 2 ҷамъбаст шудаанд.

Ҷадвали 2 – Тасниф ва хусусиятҳои алгоритмҳои истифодашуда

Table 2 – Classification and characteristics of the algorithms used

Намуди хато	Нишонаҳои намунавӣ	Алгоритми тасниф	Манбаи қоида ё такмил
Синтаксисӣ	иштибоҳ дар рамзгузорӣ, қавсҳо, операторҳо	Random Forest	қоидаҳои синтаксиси забон
Мантиқӣ	шартҳои нодуруст, даври беохир, тартиби хатоӣ амалҳо	Decision Tree	қоидаҳои алгоритмӣ ва намунаҳои хатоӣ маъмул
Сохторӣ	калон шудани функцияҳо, мураккабии зиёди код, такроршавӣ	SVM	меъёрҳои сохторӣ ва нишондиҳандаҳои мураккабӣ
Параметрӣ ва самаранокӣ	вақти зиёд, истеъмоли зиёди хотира, маҳдудиятҳои иҷро	K-NN	меъёрҳои иҷро ва профили иҷроӣ

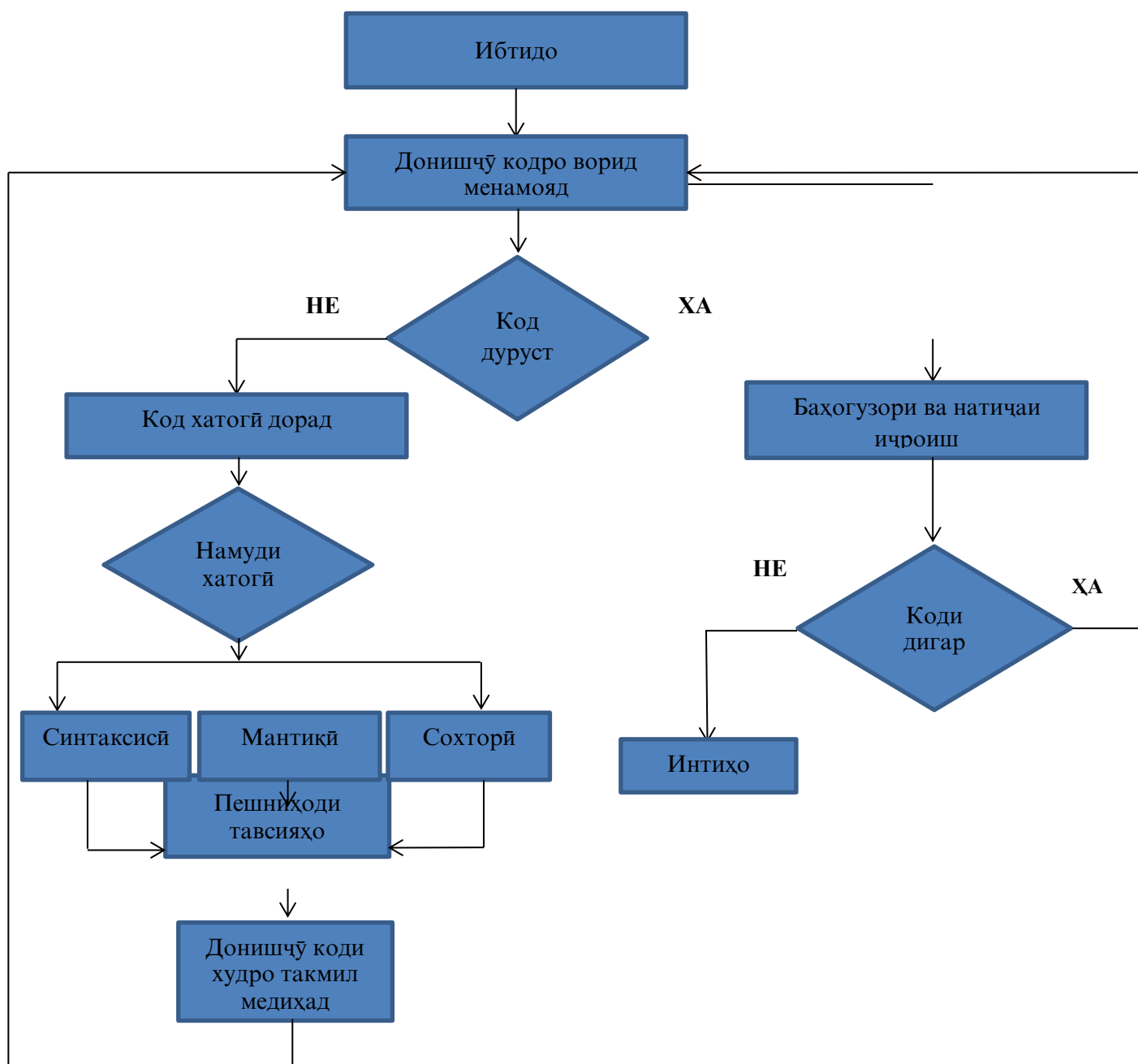
Барои таъмини фаъолияти самаранокӣ алгоритмҳои таснифотӣ дар доираи таҳқиқот маҷмуи додаҳои омӯзишӣ ташаккул дода шуд, ки аз 1200 фрагменти коди барномавии донишҷӯён иборат мебошад. Маълумоти ибтидоӣ аз корҳои лабораторӣ, супоришҳои инфиродӣ ва лоиҳаҳои таълимӣ донишҷӯёнро ихтисосҳои технологияҳои иттилоотӣ ҷамъоварӣ гардида, баъдан аз ҷониби мутахассисони соҳаи барномасозӣ тамғагузорӣ карда шуданд. Барои таъмини мувозинати синфҳо маҷмуи додаҳо ба чор гурӯҳи асосӣ хатоҳо ҷудо карда шуд: синтаксисӣ, мантиқӣ, сохторӣ ва параметрӣ, ки барои ҳар гурӯҳ тақрибан 300 намуна истифода гардид.

Дар марҳилаи ташаккули фазои хусусиятҳо маҷмуи нишондиҳандаҳои сохторӣ ва функционалии код интихоб карда шуданд. Ба ин гурӯҳ шумораи операторҳо, қавсҳо ва аломатҳои ҷудокунанда, амиқии дарахти синтаксисӣ (AST), шумораи конструкцияҳои шартӣ ва такрорӣ, нишондиҳандаҳои мураккабии сохторӣ, вақти иҷрои барнома ва ҳаҷми хотираи истифодашуда дохил гардиданд. Ин хусусиятҳо ҳамчун вектори параметрҳои воридотӣ барои алгоритмҳои омӯзиши мошинӣ истифода шуданд.

Омӯзиши моделҳо тибқи усули назоратшаванда амалӣ гардид. Барои ин маҷмуи додаҳо бо таносуби 80% барои омӯзиш ва 20% барои санҷиш ҷудо карда шуда, бо мақсади баланд бардоштани эътимоднокии натиҷаҳо усули панҷкаратаи cross-validation истифода шуд. Дар ҷараёни омӯзиш Random Forest барои таснифи хатоҳои синтаксисӣ, Decision Tree барои муайян намудани хатоҳои мантиқӣ, SVM барои таҳлили сохтории код ва K-NN барои баҳогузориҳои нишондиҳандаҳои самаранокӣ иҷроӣ татбиқ гардиданд.

Натиҷаҳои озмоиш нишон доданд, ки алгоритмҳои интихобшуда барои ташхис ва гурӯҳбандии хатоҳои самаранок мебошанд. Дақиқии миёнаи таснифот барои Random Forest ба 92,4%, барои SVM ба 90,7%, барои Decision Tree ба 88,1% ва барои K-NN ба 86,9% баробар гардид. Натиҷаҳои мазкур асоснокии интихоби алгоритмҳои пешниҳодшударо тасдиқ намуда, мувофиқати онҳоро барои истифода дар платформаи интеллектуалии омӯзиши барномасозӣ нишон медиҳанд.

Маълумоти ҷадвали 2 нишон медиҳад, ки равиши пешниҳодшаванда имкон медиҳад хатоҳо дар самтҳои синтаксисӣ, мантиқӣ, сохторӣ ва параметрӣ ё самаранокӣ муайян ва таҳлил карда шаванд. Раванди мазкур то расидан ба ҳолати устувор идома меёбад, яъне то таъмин гардидани дурустии пурраи код. Дар асоси амсилаи пешниҳодшуда, пайдарпайии иҷрои алгоритм дар шакли блок-схема нишон дода мешавад.



Расми 1 – Блок-схемаи раванди таҳлил ва таснифоти хатоӣҳо
 Figure 1 – Flowchart of the error analysis and classification process

Барои татбиқи амалии модели пешниҳодшуда меъморӣ бисёрқабатаи платформа таҳия гардид. Меъморӣ мазкур аз се сатҳи асосӣ иборат мебошад: сатҳи муаррифии маълумот, сатҳи мантиқӣ татбиқотӣ ва сатҳи нигоҳдории додаҳо.

Сатҳи муаррифии маълумот ҳамкориҳои мустақими донишчӯро бо система таъмин менамояд. Дар ин сатҳ муҳаррири интерактивӣ код, воситаҳои воридкунии супоришҳо ва интерфейси намоиши тавсияҳо ҷойгир карда шудаанд.

Сатҳи мантиқӣ татбиқотӣ қисми асосии интеллектualiи система мебошад. Дар ин сатҳ модули таҳлили синтаксисӣ, таснифоти хатоӣҳо, муҳаррики тавсияҳо ва модули идоракунии профили донишчӯ фаъолият менамоянд. Маҳз дар ҳамин қисм алгоритмҳои Random Forest, Decision Tree, SVM ва K-NN барои коркарди маълумот ва қабули қарор истифода мешаванд.

Сатҳи нигоҳдории додаҳо вазифаи нигоҳдорӣ ва идоракунии маълумотро иҷро менамояд. Дар базаи додаҳо маълумот дар бораи донишҷӯён, таърихи омӯзиш, натиҷаҳои санҷиш, ҳатоиҳои ошкоршуда ва тавсияҳои пешниҳодшуда сабт мегарданд.

Блок-схема мантиқи кори платформаи санҷиши автоматикии кодро дар шакли равиши давравӣ инъикос мекунад ва ду шохаи асосиро дар бар мегирад, шохаи ташхис ва ислоҳи ҳатоиҳо ва шохаи баҳогузори пас аз дуруст иҷро шудани код. Дар марҳилаи аввал ҳолати «код дуруст» санҷида мешавад. Агар код дуруст бошад, натиҷаи иҷроӣ баҳогузори мегардад ва вобаста ба идома ё интиҳоби кори нав раванд ё такрор мешавад ё анҷом меёбад. Агар код нодуруст бошад, система ба марҳилаи ташхис мегузарад, навъи ҳатогӣ муайян карда мешавад ва ҳатоиҳо ба гурӯҳҳои синтаксисӣ, мантиқӣ ва сохторӣ ҷудо мешаванд. Баъдан тавсияҳои мувофиқ ташақкул ёфта, донишҷӯ коди худро такмил медиҳад ва санҷиш такроран иҷро мегардад. Ин тартиб принципи омӯзиши итеративиро таъмин намуда, такмилро то расидан ба ҳолати дурустии пурраи код идома медиҳад [6].

Прототипи платформа дар асоси меъморӣ сетабакаи клиент–сервер–базаи додаҳо тарҳрезӣ шудааст. Қисми frontend бо HTML5/JavaScript татбиқ гардида, муҳаррири интерактивии коди манбаъ ва намоиши блок-схемаи натиҷаро таъмин мекунад. Қисми backend бо забони Python ва чорҷӯбаи Flask сохта шуда, аз чор модули асосӣ иборат аст: (1) модули таҳлили лексикӣ-синтаксисӣ — бар асоси китобхонаи AST барои сохтани дарахти AST; (2) модули таснифоти ҳатоиҳо — бар асоси алгоритмҳои Random Forest/Decision Tree/SVM/K-NN; (3) модули тавлиди тавсияҳо — тибқи функсияи $R(e_i, H_j) \rightarrow A_k$; (4) модули профили донишҷӯ — барои нигоҳдории таърихи H_j . Алоқаи байни модулҳо тариқи REST API амалӣ мегардад. Базаи додаҳо дар PostgreSQL татбиқ шудааст, ки профили донишҷӯён, таърихи иҷроӣ код ва натиҷаи таҳлилро дар ҷадвалҳои алоҳида нигоҳ медорад.

Натиҷаҳо (Results)

Натиҷаҳои таҳлили назариявӣ нишон медиҳанд, ки амсилаи пешниҳодшуда барои баланд бардоштани омӯзиши барномасозӣ ба сатҳи сифатан нав заминаи устувор фароҳам меорад. Платформаи пешниҳодшаванда имконият медиҳад на танҳо мавҷудияти ҳатоиро муайян намояд, балки омилҳои пайдоиш, навъ ва дараҷаи таъсири онро ба сохтори умумии барнома дар шакли таҳлилий арзёбӣ кунад [7]. Самаранокии омӯзиш тавассути нишондиҳандаи интегралӣ баҳогузори мешавад, ки коҳиши шумораи ҳатоиҳоро дар ҷараёни итератсияҳои пайдарпай инъикос менамояд:

$$N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{|E_i|}{|C_i|}\right) \quad (9)$$

ки дар он n шумораи итератсияҳо, E_i маҷмуи ҳатоиҳои ошкоршуда дар итератсияи i ва C_i маҷмуи унсурҳои коди таҳлилшаванда дар ҳамаи итератсия мебошад. Қимати $|E_i|$ шумораи ҳатоиҳо, ва $|C_i|$ ҳаҷми унсурҳои коди барнома, масалан шумораи токенҳо, операторҳо ё гиреҳҳои дарахти синтаксисиро ифода мекунад, вобаста ба усули интиҳобшудаи намоиши код. Дар шароити таҷрибавӣ қимати N барои ҳар донишҷӯ ё гурӯҳи донишҷӯён дар давоми иҷроӣ пайдарпай ҳисоб карда шуда, афзоиши он ҳамчун нишонаи беҳтар шудани сифати код ва самаранокии равиши мутобиқшаванда маънидод мегардад [8].

Нишондиҳандаи N дар шакли пешниҳодшуда танҳо нисбати шумораи ҳатоиҳоро ба ҳаҷми умумии код инъикос мекунад ва барои муқоисаи объективии донишҷӯёни бо сатҳи гуногуни тайёрӣ ё масъалаҳои дорои дараҷаи мухталифи мураккабӣ кофӣ нест. Барои бартараф кардани ин маҳдудият, тавсия дода мешавад, ки нишондиҳандаи мазкур бо коэффисиенти вазнии мураккабии масъала D (бар асоси метрикаи сикломатикӣ Маккейб) ва сатҳи ибтидоии донишҷӯ θ_0 муттаҳид карда шавад:

$$N = \sum_{i=1}^n \left\{ \left(1 - \frac{|E_i|}{|C_i|}\right) \cdot \frac{|D_k|}{|\theta_0|} \right\} \quad (10)$$

Барои бартараф намудани маҳдудиятҳои нишондиҳандаи аъъанавии баҳодихӣ ба формулаи пешниҳодшуда ду параметри иловагӣ дохил карда шуданд:

коэффициенты мураккабии масъала D ва нишондиҳандаи сатҳи ибтидоии омодагии донишчӯ θ_0 .

Параметри D дараҷаи мураккабии масъалаи барномавино инъикос намуда, дар асоси хусусиятҳои сохтори алгоритм муайян карда мешавад. Ҳангоми ҳисобкунии он шумораи операторҳои шартӣ, конструкцияҳои такрорӣ, амиқии шоҳабандӣ ва ҳаҷми умумии алгоритм ба назар гирифта мешаванд. Қимати D бо зиёд гардидани мураккабии масъала афзоиш меёбад.

Нишондиҳандаи θ_0 бошад сатҳи ибтидоии дониш ва малакаҳои донишчӯро пеш аз оғози омӯзиш тавсиф менамояд. Барои муайян намудани ин параметр натиҷаҳои санҷиши ибтидоӣ, сатҳи иҷрои супоришҳои пешакӣ ва дараҷаи азхудкунии мафҳумҳои асосии барномасозӣ истифода шуданд.

Ворид намудани параметрҳои мазкур имконият медиҳад, ки баҳодиҳии самаранокии омӯзиш на танҳо аз рӯи шумораи хатоҳо, балки бо дарназардошти душвории масъала ва сатҳи омодагии донишчӯ анҷом дода шавад.

Нисбат ба модели ибтидоӣ нишондиҳандаи пешниҳодшуда хусусияти мутобиқшаванда дорад. Агар ду донишчӯ шумораи якхелаи хатоҳо дошта бошанд, вале масъалаҳои сатҳи гуногуни мураккабиро иҷро намоянд, қимати нишондиҳанда барои онҳо фарқ хоҳад кард. Ҳамин тавр, модели нав на танҳо натиҷаи ниҳой, балки шароити ба даст овардани онро низ ба ҳисоб мегирад. Ин хусусият эътимоднокии ва адолатнокии механизми баҳодиҳиро зиёд менамояд.

Ин тавсеа имкон медиҳад, ки баҳодиҳии самаранокии омӯзиш аз таъсири мустақими сатҳи душвории супориш мустақил гардад.

Барои санҷиши амалии модели пешниҳодшуда, озмоиши таҷрибавӣ бо иштироки 42 нафар донишчӯи курси якуми ихтисоси «Технологияҳои иттилоотӣ» гузаронида шуд. Донишчӯён дар давоми 6 ҳафта дар чорҷӯбаи курси «Асосҳои барномасозӣ ба забони Python» бо прототипи платформа кор карданд. Шумораи миёнаи хатоҳо аз 14,3 (ҳафтаи якум) то 5,7 (ҳафтаи шашум) коҳиш ёфт, ки ба афзоиши N аз 0,42 то 0,81 баробар шуд. Дар гурӯҳи назоратӣ ($n=20$, бе тавсияҳои инфиродӣ) N танҳо то 0,58 расид. Тафовути байни гурӯҳҳо тибқи озмоиши t-Student бо $p<0,05$ муайян шуд.

Дар қараёни таҷриба ҳамаи натиҷаҳо дар базаи додаҳои платформа нигоҳ дошта шуда, баъдан бо истифода аз усулҳои омории таҳлил коркард гардиданд. Барои муқоисаи гурӯҳҳои таҷрибавӣ ва назоратӣ озмоиши t-Student истифода шуд, ки имконият медиҳад аҳамиятнокии омории фарқиятҳои мушоҳидашаванда муайян карда шавад.

Ҷадвали 3 – Натиҷаҳои озмоиши таҷрибавии платформа

Table 3 – Results of the Experimental Testing of the Platform

Нишондиҳанда	Ҳафтаи 1	Ҳафтаи 6
Шумораи миёнаи хатоҳо	14,3	5,7
Вақти миёнаи ислоҳи хато (дақ.)	23,4	11,2
Ҷисми супоришҳои муваффақ	51 %	88 %
Нишондиҳандаи N	0,42	0,81

Натиҷаҳои муқоисавии гурӯҳҳои таҷрибавӣ ва назоратӣ нишон доданд, ки фарқияти бадастомада хусусияти тасодуфӣ надорад. Қимати $p<0,05$ тасдиқ менамояд, ки беҳбудии нишондиҳандаҳои омӯзишӣ бо истифодаи модели пешниҳодшуда алоқаманд буда, аз нуқтаи назари омӯрӣ аҳамиятнок мебошад. Ин натиҷаҳо қобилияти амалии татбиқи платформа ва самаранокии механизмҳои таҳлис, таснифот ва тавсияҳои мутобиқшавандаро тасдиқ мекунанд.

Маълумоти ҷадвали 3 нишон медиҳад, ки истифодаи механизми таҳлис ва тавсияҳои мутобиқшаванда боиси коҳиши назарраси шумораи хатоҳо ва баланд гардидани сифати иҷрои супоришҳо шудааст. Дар давоми озмоиш шумораи миёнаи хатоҳо зиёда аз 60% коҳиш ёфта, нишондиҳандаи интегралӣ N қариб ду маротиба афзоиш ёфт. Ҳамзамон вақти миёнаи ислоҳи хатоҳо кам гардида, сатҳи иҷрои муваффақонаи супоришҳо ба таври назаррас баланд шуд.

Амсилаи пешниҳодшуда бо як қатор хусусиятҳои фарқкунанда тавсиф меёбад, ки онро аз равишҳои анъанавӣ ҷудо месозанд. Аввал, платформа ҳамчун муҳити омӯзиши мутобиқшаванда баррасӣ мегардад, ки ба таҳлили сохтори код таъямунад ва ба арзёбии натиҷаи иҷроӣ маҳдуд наметавонад. Он сабабҳои пайдоиши хатоҳои ошкор намуда, мантиқи бартаарафсозии онҳоро шарҳ медиҳад. Дуюм, амсилаи математикӣ ва алгоритмҳои табиқшуда имкон медиҳанд, ки омӯзиш дар шакли давравӣ бо механизми бозгашт ташкил гардад. Дар чунин равиш ҳар қадами тақмили код дар сатҳи ҳисоббарорӣ расмӣ мегардад, натиҷаҳои санҷиш ба шакли параметрҳои амсила табдил меёбанд ва барои коркарди минбаъдаи алгоритм истифода мешаванд. Ин хусусият ба низом қобилияти идоракунии мутобиқшаванда медиҳад, ки барои фанҳои техникӣ, махсусан дар омӯзиши барномасозӣ, аҳамияти амалӣ дорад. Сеюм, алгоритми калидии платформа ҳамчун алгоритми яқояи таснифотӣ ва давравӣ бо механизми бозгашт шарҳ дода мешавад. Принципи қори он ба ҳамгироии қоидаҳои муайянкунандаи навъи хато, амсилаи қабули қарор ва таҳлили сохтори код асос меёбад. Бартарии ин равиш дар он аст, ки қарор бо таъяму ба як нишонаи ҷудогона қабул намешавад. Баръакс, маҷмуи аломатҳо ва параметрҳо ба таври ҳамзамон ба ҳисоб гирифта мешаванд, аз ҷумла хусусиятҳои хатогӣ, маълумоти таърихи омӯзиши донишҷӯ ва тавсияҳои тавлидшуда. Бо ин роҳ алгоритм метавонад ҳам дар ҳолатҳои маҷмуӣ ва ҳам дар ҳолатҳои мураккаб бо устуворӣ ва дақиқии баланд фаъолият намояд. Ҳамзамон табиати мутобиқшавандаи алгоритм таъмин мегардад, яъне вобаста ба навъи хатоҳо ва хусусиятҳои сохтори код сатҳи таҳлил ва роҳҳои ислоҳ тағйир меёбанд. Ин ҷузъ имконият медиҳад, ки траекторияи омӯзиш барои ҳар донишҷӯ мувофиқ ба сатҳи омодагӣ ва эҳтиёҷоти ӯ танзим шавад. Бо таъяму ба механизми давравӣ, платформа метавонад на танҳо хатоҳои ошкор ва тасниф намояд, балки барои ҳар даври иҷроӣ маҷмуи нави тавсияҳои ислоҳро ташаққул диҳад. Дар натиҷа сифати коди барномавӣ пайваста баланд шуда, шумораи хатоҳо коҳиш меёбад. Формулаҳои математикӣ ва амсилаҳои пешниҳодшуда ин равандро расмӣ мегардонанд ва шароит фароҳам меоранд, ки самаранокии омӯзиш бо нишондиҳандаҳои ҳисоббарорӣ арзёбӣ шавад [9].

Муҳокима (Discussion)

Аҳамияти илмӣ тадқиқот дар он зоҳир мешавад, ки барои омӯзиши барномасозӣ низомии интеллектуалӣ пешниҳод мегардад, ки дар он мутобиқшавӣ, таҳлили сохтори код ва механизми тавсиягӣ дар як ҷаҳорҷӯбаи ягона муттаҳид мешаванд. Ин ҳамгироӣ омӯзишро аз сатҳи танҳо санҷиши натиҷаи иҷроӣ берун метаворад ва ба он хусусияти таҳлиلى ва амалӣ медиҳад. Донишҷӯ имконият пайдо мекунад хатоҳои худро на танҳо ислоҳ кунад, балки сабабҳои онҳоро дарк намояд ва малакаи сохтани коди дуруст ва асоснокро тадриҷан ташаққул диҳад. Навоварии илмӣ инчунин дар пайвастагии амсилаи математикӣ, алгоритмҳои яқоявӣ, функцияҳои расмӣ ва тасвири раванд дар шакли блок-схема ифода меёбад.

Фарқи бунёдии равиши пешниҳодшуда аз платформаҳои мавҷуда (Codeforces, LeetCode, HackerRank, Codecademy) дар се ҷиҳати мушаххас зоҳир мегардад, ки дар Ҷадвали 1 ба таври миқдорӣ нишон дода шудаанд: якум, ҳамгироии ҷор алгоритми гуногуни таснифотӣ дар як механизми давравӣ (на алгоритми ягона), ки имкони таҳлили дифференсиалии навъҳои мухталифи хатоиро медиҳад; дуюм, функцияи тавсиявии шартии марковии $R(e_i, H_j) \rightarrow A_k$, ки тавсияро ба таърихи инфиродии донишҷӯ алоқаманд мекунад, на ба қоидаи статистикии ягона; сеюм, тасдиқи таҷрибагии ин равиш бо озмоиши 42 нафар донишҷӯ, ки афзоиши N аз 0,42 то 0,81-ро собит кард. Маҳз ин се ҷузъ яқоя дар платформаҳои таҳлилшуда мушоҳида намешаванд.

Ин маҷмуъ раванди омӯзишро ҳамчун низомии дорои ҳолат ва параметрҳои тағйирёбанда моделсозӣ намуда, барои таҳлили рафтор ва динамикаи омӯзиши донишҷӯ асоси методӣ фароҳам меорад. Бартарии калидии платформа дар ҳамгироии муназзами амсила, алгоритми тасниф ва омӯзиши мутобиқшаванда ифода меёбад. Баръакс равишҳои анъанавӣ, ки натиҷаро бештар ҳамчун ҳолати нисбатан статикӣ арзёбӣ мекунанд, дар ин ҷо омӯзиш ҳамчун низомии динамикӣ баррасӣ мегардад ва тавассути механизми бозгашт қарорҳо ба иттилооти воқеии раванди иҷро таъяму

мекунад. Ин хусусият бо тамоюлҳои муосири таҳияи муҳитҳои омӯзишии интеллектуалӣ ҳамоҳанг буда, барои таҳқиқоти минбаъда дар самти омӯзиши мутобиқшаванда ва истифодаи зехни сунъӣ имкониятҳои нав фароҳам меорад.

Натиҷаҳои бадастомада бо тамоюлҳои муосири рушди системаҳои интеллектуалии омӯзишӣ мувофиқат менамоянд. Фарқияти асосӣ дар он мебошад, ки дар доираи таҳқиқоти мазкур ташхиси сохтори код, таснифоти хатоҳо ва механизми тавсияҳои мутобиқшаванда дар шакли ягона муттаҳид карда шудаанд. Ин хусусият модели пешниҳодшударо аз қисми зиёди қарорҳои мавҷуда фарқ менамояд.

Навгони илмӣ таҳқиқоти мазкур дар нуктаҳои зерин ифода меёбад:

- Амсилаи математикӣ барои ҳамгирии таҳлили сохтори коди барномавӣ, таснифоти автоматии хатоҳо ва механизми мутобиқшавандаи омӯзиш пешниҳод гардид, ки имкон медиҳад тамоми марҳилаҳои таҳлил дар доираи муҳити ягона амалӣ гарданд.

- Функсияи тавсиявии $R(e_i, H_j) \rightarrow A_k$ таҳия гардид, ки байни навъи хатои ошкоршуда, таърихи омӯзиши донишҷӯ ва маҷмуи амалҳои ислоҳкунанда робитаи формалӣ барқарор менамояд.

- Равиши маҷмуии истифодаи алгоритмҳои Random Forest, Decision Tree, SVM ва K-NN барои ташхис ва гурӯҳбандии хатоҳои барномавӣ пешниҳод гардид, ки нисбат ба истифодаи як алгоритми алоҳида имконияти баланд бардоштани дақиқии таснифотро фароҳам меорад.

- Нишондиҳандаи такмилёфтаи баҳодихии самаранокии омӯзиш таҳия шуд, ки дар баробари шумораи хатоҳо мураккабии масъала ва сатҳи ибтидоии омодагии донишҷӯро низ ба ҳисоб мегирад.

- Самаранокии модели пешниҳодшуда дар муҳити воқеии таълимӣ бо иштироки 42 нафар донишҷӯ таҷрибавӣ санҷида шуда, аҳаммиятнокии омории натиҷаҳои бадастомада тасдиқ гардид.

Хулоса (Conclusion)

Дар мақола амсилаи платформаи интеллектуалии санҷиш ва омӯзиши барномасозӣ пешниҳод ва асоснок карда шуд, ки татбиқи он дар муҳити таълимӣ имконпазир мебошад. Дар доираи амсила пайдарпайии равандҳои омӯзишӣ дар шакли расмӣ муайян гардида, санҷиши ибтидоии код, ташхис ва таснифи хатоҳо, ташаккули тавсияҳо ва такмили такрорӣ код ҳамчун марҳилаҳои бо ҳам пайваست ба танзим дароварда шуданд. Равиши пешниҳодшуда ба алгоритмҳои таснифоти хатоҳо ва воситаҳои амсиласозии математикӣ таъя мекунад, ки имкон медиҳад хатоҳо на танҳо ошкор ва гурӯҳбандӣ шаванд, балки сабабҳои эҳтимолии онҳо низ дар сатҳи сохторӣ шарҳ дода шаванд. Алгоритмҳои татбиқшуда хусусияти давравӣ, бозгаштдор ва мутобиқшаванда доранд. Натиҷаҳои озмоиши пилотӣ бо иштироки 42 нафар донишҷӯ нишон дод, ки N аз 0,42 то 0,81 афзоиш ёфт ($p < 0,05$), ки самаранокии амалии платформаро тасдиқ мекунад. Дар маҷмӯъ, татбиқи платформа метавонад самаранокии баҳогуздорӣ ва дастгирии омӯзишро зиёд намояд ва барои рушди насли нави муҳитҳои омӯзишии интеллектуалӣ дар фанҳои техникӣ заминаи методӣ ва илмӣ фароҳам оварда.

Муқарриз: Шерматов Ш.М. — н.и.ф.-м., дотсенти ДДХ ба номи академик Ё. Фафуров.

Адабиёт

1. Боголюбов, А.Н. Основы математического моделирования / А.Н. Боголюбов. – М.: МГУ, 2005. – 220 с.
2. Булавин, Л.А. Компьютерное моделирование физических систем / Л.А. Булавин, Н.В. Выгорницкий, Н.И. Лебовка. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 352 с.
3. Ваганова, О.И. Возможности облачных технологий в электронном обучении / О.И. Ваганова [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6–2. – С. 183–187.
4. Василишина, Н.В. Применение метода компьютерного моделирования в обучении математике / Н.В. Василишина // Вестник Адыгейского государственного университета. – 2016. – № 2 (178). – С. 62–67.

5. Веретин, Р.С. Анализ эффективности цифровых образовательных платформ с поддержкой искусственного интеллекта / Р.С. Веретин. – М.: МГПУ, 2025. – 98 с.
6. Данилов, О.Е. Учебная компьютерная модель системы связанных осцилляторов / О.Е. Данилов // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2017. – № 4 (118). – С. 116–121.
7. Добрица, В.П. Применение интеллектуальной адаптивной платформы в образовании / В.П. Добрица, Е.И. Горюшкин // Auditorium. Курский государственный университет. – 2019. – № 1 (21). – С. 23–30.
8. Кашина, О.А. Система управления обучением как основа организации электронного обучения в вузе / О.А. Кашина // Образовательные технологии и общество. – 2018. – № 2. – С. 431–438.
9. Клиначев, Н.В. Основы моделирования систем / Н.В. Клиначев. – М.: Академия, 2000. – 321 с.
10. Кочеткова, Т.О. Адаптивная образовательная стратегия обучения математике студентов в электронной среде / Т.О. Кочеткова, О.А. Карнаухова // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В. П. Астафьева. – 2018. – № 2. – С. 50–56.
11. Куликова, Е.А. Подготовка в процессе обучения к будущей профессиональной деятельности в условиях неопределенности / Е.А. Куликова // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 12 (68). – С. 1123–1130.
12. Лебедева, А.А. Прогноз пространственно-временной динамики с применением машинного обучения / А.А. Лебедева, А.А. Гарашенко, Д.Н. Сидоров // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2025. – № 3. – С. 22–37.
13. Медянкина, Е.Л. Модель адаптивного интеллектуального обучения бакалавров технического профиля / Е.Л. Медянкина, Н.Д. Куркурин // Системная инженерия и инфокоммуникации. – 2025. – № 3. – С. 15–26.
14. Пырин, А.В. Выбор алгоритма программированного обучения в рамках проблемы клипового мышления современных школьников / А.В. Пырин // Аллея науки. – 2019. – № 1 (28). – С. 888–891.
15. Рыбцова, Л.Л. Современные образовательные технологии : учебное пособие / под ред. Л. Л. Рыбцовой. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 92 с.
16. Советов, Б.Я. Моделирование систем : учебник для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.
17. Татарникова, С.А. Адаптивное обучение как технология персонализированного профессионального обучения / С.А. Татарникова, И.А. Чаунина // Ratio et Natura. – 2022. – № 1 (5). – С. 16.
18. Baxter, I. Clone Detection Using Abstract Syntax Trees / I. Baxter, A. Yahin, L. Moura, M. Sant'Anna, L. Bier // Proceedings of the International Conference on Software Maintenance (ICSM). – Bethesda, MD, USA, 1998. – P. 368–377.
19. Brusilovsky, P. Adaptive educational hypermedia: from generation to generation / P. Brusilovsky // Proceedings of the 4th Hellenic Conference on Information and Communication Technologies in Education. – Athens, Greece, 2004. – P. 19–33.
20. Kabudi, T. AI-enabled adaptive learning systems: A systematic mapping of the literature / T. Kabudi, I. Pappas, D.H. Olsen // Computers and Education: Artificial Intelligence. – 2021. – Vol. 2. – Art. 100017.
21. Kytmanov, A.A. Competency-based Learning in Higher Mathematics Education as a Cluster of Efficient Approaches / A.A. Kytmanov, M.V. Noskov, K.V. Safonov, M.V. Savelyeva, V.A. Shershneva // Bolema: Mathematics Education Bulletin. – 2016. – Vol. 30, № 56. – P. 1113–1126.
22. Li, F. Progress, challenges and countermeasures of adaptive learning: A systematic review / F. Li, Y. He, Q. Xue // Educational Technology & Society. – 2021. – Vol. 24, № 3. – P. 238–255.

References

1. Bogolyubov, A.N. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya [Fundamentals of mathematical modeling]. Moscow: Moscow State University, 2005. 220 p. (In Russian).
2. Bulavin, L.A., Vygornitskiy, N.V., Lebovka, N.I. Komp'yuternoe modelirovanie fizicheskikh sistem [Computer modeling of physical systems]. Dolgoprudny: Intellekt, 2011. 352 p. (In Russian).
3. Vaganova, O.I. Vozmozhnosti oblachnykh tekhnologiy v elektronnom obuchenii [Cloud technology capabilities in e-learning] / O.I. Vaganova [et al.]. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2017, no. 6–2, pp. 183–187. (In Russian).
4. Vasilishina, N.V. Primenenie metoda komp'yuternogo modelirovaniya v obuchenii matematike [Application of the computer modeling method in teaching mathematics] / N.V. Vasilishina. Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Adyge State University], 2016, no. 2 (178), pp. 62–67. (In Russian).

5. Veretin, R.S. Analiz effektivnosti tsifrovyykh obrazovatel'nykh platform s podderzhkoy iskusstvennogo intellekta [Analysis of the effectiveness of digital educational platforms supported by artificial intelligence]. Moscow: MGPU, 2025. 98 p. (In Russian).
6. Danilov, O.E. Uchebnaya komp'yuternaya model' sistemy svyazannykh ostsillyatorov [Educational computer model of a system of coupled oscillators] / O.E. Danilov. Distantionnoe i virtual'noe obuchenie [Distance and Virtual Learning], 2017, no. 4 (118), pp. 116–121. (In Russian).
7. Dobritsa, V.P., Goryushkin, E.I. Primenenie intellektual'noy adaptivnoy platformy v obrazovanii [Application of an intelligent adaptive platform in education]. Auditorium. Kursk State University, 2019, no. 1 (21), pp. 23–30. (In Russian).
8. Kashina, O.A. Sistema upravleniya obucheniem kak osnova organizatsii elektronnoy obucheniya v vuze [Learning management system as a basis for organizing e-learning at a university] / O.A. Kashina. Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo [Educational Technology & Society], 2018, no. 2, pp. 431–438. (In Russian).
9. Klinachev, N.V. Osnovy modelirovaniya sistem [Fundamentals of systems modeling]. Moscow: Akademiya, 2000. 321 p. (In Russian).
10. Kochetkova, T.O., Karnaukhova, O.A. Adaptivnaya obrazovatel'naya strategiya obucheniya matematike studentov v elektronnoy srede [Adaptive educational strategy for teaching mathematics to students in an electronic environment]. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.P. Astaf'eva [Bulletin of the Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev], 2018, no. 2, pp. 50–56. (In Russian).
11. Kulikova, E.A. Podgotovka v protsesse obucheniya k budushchey professional'noy deyatel'nosti v usloviyakh neopredelennosti [Preparing during education for future professional activity under uncertainty]. Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii [Modern Scientific Research and Innovation], 2016, no. 12 (68), pp. 1123–1130. (In Russian).
12. Lebedeva, A.A., Garashchenko, A.A., Sidorov, D.N. Prognoz prostranstvenno-vremennoy dinamiki s primeneniem mashinnogo obucheniya [Forecasting spatio-temporal dynamics using machine learning]. Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and Mathematical Technologies in Science and Management], 2025, no. 3, pp. 22–37. (In Russian).
13. Medyankina, E.L., Kurkurin, N.D. Model' adaptivnogo intellektual'nogo obucheniya bakalavrov tekhnicheskogo profilya [Model of adaptive intelligent learning for technical bachelor students]. Sistemnaya inzheneriya i infokommunikatsii [System Engineering and Infocommunications], 2025, no. 3, pp. 15–26. (In Russian).
14. Pyrin, A.V. Vybory algoritma programirovannogo obucheniya v ramkakh problemy klipovogo myshleniya sovremennykh shkol'nikov [Choosing a programmed learning algorithm in the context of modern schoolchildren's clip thinking]. Alleya nauki [Alley of Science], 2019, no. 1 (28), pp. 888–891. (In Russian).
15. Rybtsova, L.L. Sovremennye obrazovatel'nye tekhnologii: uchebnoe posobie [Modern educational technologies: a textbook] / ed. by L.L. Rybtsova. Yekaterinburg: Ural University Press, 2014. 92 p. (In Russian).
16. Sovetov, B.Ya., Yakovlev, S.A. Modelirovanie sistem: uchebnik dlya vuzov [Systems modeling: a textbook for universities]. Moscow: Vysshaya shkola, 2001. 343 p. (In Russian).
17. Tatarnikova, S.A., Chaunina, I.A. Adaptivnoe obuchenie kak tekhnologiya personalizirovannogo professional'nogo obucheniya [Adaptive learning as a technology of personalized professional training]. Ratio et Natura, 2022, no. 1 (5), p. 16. (In Russian).
18. Baxter, I., Yahin, A., Moura, L., Sant'Anna, M., Bier, L. Clone Detection Using Abstract Syntax Trees. Proceedings of the International Conference on Software Maintenance (ICSM). Bethesda, MD, USA, 1998, pp. 368–377.
19. Brusilovsky, P. Adaptive educational hypermedia: from generation to generation. Proceedings of the 4th Hellenic Conference on Information and Communication Technologies in Education. Athens, Greece, 2004, pp. 19–33.
20. Kabudi, T., Pappas, I., Olsen, D.H. AI-enabled adaptive learning systems: A systematic mapping of the literature. Computers and Education: Artificial Intelligence, 2021, vol. 2, art. 100017.
21. Kytmanov, A.A., Noskov, M.V., Safonov, K.V., Savelyeva, M.V., Shershneva, V.A. Competency-based Learning in Higher Mathematics Education as a Cluster of Efficient Approaches. Bolema: Mathematics Education Bulletin, 2016, vol. 30, no. 56, pp. 1113–1126.
22. Li, F., He, Y., Xue, Q. Progress, challenges and countermeasures of adaptive learning: A systematic review. Educational Technology & Society, 2021, vol. 24, no. 3, pp. 238–255.

Маълумот дар бораи муаллиф:

Муродов Маскурбек Келдибекович, муаллими калон, Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2025-8058>. E-mail: maskurbek_murodzoda@mail.ru

Сведения об авторе:

Муродов Маскурбек Келдибекович, старший преподаватель, Таджикский государственный университет права, бизнеса и политики. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2025-8058>. E-mail: maskurbek_murodzoda@mail.ru

Information about the author:

Maskurbek Murodov, Senior Lecturer, Tajik State University of Law, Business and Politics. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2025-8058>. E-mail: maskurbek_murodzoda@mail.ru

ТАҲИЯИ КАЛИДИ БАДАЛСОЗӢ БО ТАРЗИ СТАХОСТИКӢ АЗ ИСТИФОДАИ ҲИЧО ВА МАССИВҲОИ ЯКЧЕНАКА ДАР БАДАЛСОЗИИ ОБЪЕКТҲОИ МАТНӢ

М.Ҳ. Гафуров, Д.А. Анварзода

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

Дар пажӯҳиши мазкур равиши нави ташаққули калидҳои бадалсозӣ барои маълумоти матнӣ бо истифода аз усули стохастикӣ пешниҳод шудааст. Назарияи асосӣ бар он асос ёфтааст, ки вохидҳои гуногуни забонӣ (лингвистикӣ) — ба монанди решаи калимаҳо, пешоянду пасояндҳо, аффиксҳо, инчунин аломатҳои китобатию махсус — бо массивҳои якченака алоқаманд карда мешаванд. Бо ин роҳ, раванди ӯшидасозии матн бевосита дар заминаи хусусиятҳои лингвистикӣ ва алифбои худӣ ҳамон забон амалӣ мегардад. Ҳадафи асосии татбиқи ин алгоритм баланд бардоштани сатҳи амнияти иттилоотӣ ва ҳифзи додаҳо аз даҳлати бечозат ё ҳамлаҳои киберӣ (ҳакерҳо, қулфшиканҳо) мебошад. Ҳамзамон, дар мақола дараҷаи устувории чунин калидҳо ва хатари эҳтимолии шикастани онҳо ба таври муфасссал таҳлил гардидааст. Бояд қайд намуд, ки усули коркардшуда хусусияти универсалӣ дошта, онро метавон дар матнҳои забонҳои дигар низ беамониат истифода бурд.

Калидвожаҳо: объект, бадалсозӣ, бадалкунӣ, аксбадалкунӣ, реша, аломатҳои имлоӣ махсус, алифбои хусусӣ, калид, вариант, устуворӣ, киберҷиноят.

РАЗРАБОТКА СТОХАСТИЧЕСКОГО КЛЮЧА ШИФОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЛОГОВ И ОДНОМЕРНЫХ МАССИВОВ ПРИ ШИФОВАНИИ ТЕКСТОВЫХ ОБЪЕКТОВ

М.Х. Гафуров, Д.А. Анварзода

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

В данном исследовании предложен новый подход к формированию ключей шифрования текстовой информации с использованием стохастического метода. Основная идея заключается в том, что различные языковые единицы - такие как слоги, а также орфографические и специальные символы - сопоставляются с одномерными массивами. Таким образом, процесс шифрования текста осуществляется непосредственно на основе лингвистических особенностей и собственного алфавита соответствующего языка. Основной целью реализации данного алгоритма является повышение уровня информационной безопасности и защита данных от несанкционированного доступа или кибератак (хакеров). В работе также подробно проанализированы степень устойчивости таких ключей и вероятность их возможного взлома. Следует отметить, что разработанный метод обладает универсальным характером и может быть эффективно применён для обработки текстов на различных языках.

Ключевые слова: объект, шифрования, зашифрования, расшифрования, слоги, орфографические и специальные символы, частный алфавит, ключ, вариант, устойчивость, киберпреступление.

DEVELOPMENT OF A STOCHASTIC ENCRYPTION KEY USING SYLLABLES AND ONE- DIMENSIONAL ARRAYS FOR TEXT OBJECT ENCRYPTION

M.Kh. Gafurov, D.A. Anvarzoda

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

This study proposes a novel approach to generating encryption keys for textual information using a stochastic method. The core concept involves mapping various linguistic units—such as syllables, as well as orthographic and special characters - to one-dimensional arrays. Consequently, the text encryption process is performed directly based on the linguistic characteristics and the specific alphabet of the target language. The primary objective of implementing this algorithm is to enhance information security and protect data from unauthorized access or cyberattacks. The paper also provides a detailed analysis of the robustness of these keys and the probability of their potential compromise. It should be noted that the developed method is universal in nature and can be effectively applied to the processing of texts in various languages.

Keywords: object, encryption, enciphering, decryption, syllables, orthographic and special characters, specific alphabet, key, variant, robustness, cybercrime.

Муқаддима (Introduction)

Дар аксари равишҳои анъанавии бадалсозии маълумот, ҳамчун асос алифбои стандартии забон баромад намуда, ба ҳар як аломати матнӣ кушода рақами мушаххас бахшида мешавад. Чунин тарзи кор - аз шифрҳои таърихӣ Сезару Полибий сар карда, то баъзе алгоритмҳои муосир - ба таври васеъ маъмул аст ва маъмулан онро бадалсозии униграммавӣ меноманд. Дар ин ҳолат, раванди ӯшидасозии матн тибқи қоидаҳои муайян ва дар заминаи калиди махфӣ сурат мегирад, ки ин раванд дар як қатор корҳои илмӣ [1-9] ба таври васеъ баррасӣ ёфтааст.

Бо вучуди ин, дар замони муосир рушди босуръати технологияҳои ҳисоббарор, бахусус пайдоиши суперкомпютерҳо ва мошинҳои квантӣ, амнияти чунин алгоритмҳоро зерӣ хатар мегузорад. Иқтисодӣ баланди ҳисоббарорӣ имрӯза ба криптоаналитикҳо ва киберҷинояткорон имкон медиҳад, ки тавассути таҳлили басомади (зуддӣ)

пайдоиши символҳо, матни бадалшударо ба осонӣ таҳлил намуда, ба ҳолати аввалааш (кушода) баргардонанд.

Барои рафъи ин осебпазирӣ, дар мақолаҳои [10-14] равишҳои наву муосир пешниҳод шудаанд. Дар онҳо роҳҳои ташаккули алифбои хусусии бадалсозӣ, таҳияи калидҳои нави муҳофизатӣ ва инчунин татбиқи калидҳои ёрирасоне, ки сохтори аслии объекти матнро ҳангоми аксбадалкунӣ ҳифз мекунад, мавриди омӯзиш қарор гирифтаанд.

Алгоритми ҳалли масъала (*Algorithm for solving the problem*)

Дар заминаи равишҳои дар тадқиқоти [10-14] пешниҳодшуда, ҷараёни пӯшидасозии матнро бо истифода аз усули стохастикӣ таҳлил мекунем. Дар ин ҳолат калиди криптографӣ мустақиман аз хусусиятҳои лингвистии ҳуди матн (ҳиҷо, аломатҳои китобатӣ) ва массивҳои якченака, инчунин бо ҷалби калиди ёрирасон ташаккул меёбад.

Пайдарпайии амалисозии ин алгоритм чунин аст:

1. **Омодасозии матн:** Дар оғоз объекти матнии кушода (минбаъд — объекти $\mathcal{L}$) интиҳоб ва ё таҳия карда мешавад.

2. **Тақсимои лингвистӣ:** Объекти мазкур ба ҷузъҳои хурдтарини забонӣ — ҳиҷо ва дигар аломатҳои имлоиву махсус таҷзия мегардад.

3. **Эҷоди калиди ёрирасон (K_e):** Барои нигоҳ доштани сохтори аслии матн (аз ҷумла фосилаҳо ва сархатҳо) ҳангоми бадалсозӣ ва аксбадалкунӣ, калиди махсуси ёрирасон сохта мешавад. Унсурҳои ивазкунадаи ин калид аз пойгоҳи стандартҳои ASCII ё UNICODE интиҳоб мешаванд.

4. **Татбиқи K_e :** Бо ёрии калиди ёрирасони таҳияшуда, объекти кушодаи $\mathcal{L}$ ба шакли мобайнии $\mathcal{L}_1$ табдил дода мешавад.

5. **Ташаккули алифбои хусусӣ:** Аз тамоми ҷузъҳои забонии дар боло зикршуда (ки аллакай тавассути калиди K_e қисман иваз шудаанд), алифбои беназири бадалсозии A_x барои матни додашуда таҳия карда мешавад.

6. **Муайянкунии массив:** Вобаста ба миқдори унсурҳое, ки дар алифбои A_x ҷамъ омадаанд, ба ҳамон миқдор унсур аз массиви якченака интиҳоб карда мешавад.

7. **Сохтани калиди асосӣ (K_a):** Бо истифода аз қонуниятҳои стохастикӣ, ҳар як унсури алифбои A_x ба як унсури массиви якченака пайваست карда шуда, калиди асосӣ K_a , ки он махфӣ мебошад таҳия карда мешавад.

8. **Бадалсозии ниҳой:** Дар ин қадам, тавассути калиди асосии K_a , объекти мобайнии $\mathcal{L}_1$ пурра бадалсозӣ гардида, матни ниҳойи пӯшидаи $\mathcal{L}_2$ ҳосил мешавад.

9. **Раванди аксбадалкунӣ:** Барои кушодани объекти бадалшудаи $\mathcal{L}_2$ амалҳо бо тартиби баръакс иҷро мешаванд: нахуст тавассути калиди K_a объекти $\mathcal{L}_2$ ба ҳолати $\mathcal{L}_1$ баргардонидида мешавад ва сипас, бо истифода аз калиди ёрирасони K_e сохтори матн барқарор шуда, объекти аслии $\mathcal{L}$ ба даст меояд.

Ҳалли масъала дар мисолҳо (*Problem solving through examples*)

Барои амалӣ намудани алгоритми пешниҳодшуда, матни аслии $\mathcal{L}$ тавассути калиди таҳияшудаи бадалсозӣ пӯшида гардонидида мешавад. Ин калид бевосита дар асоси алифбои хусусӣ ва массиви якченака сохта шудааст. Фарз мекунем, ки объекти $\mathcal{L}$ рубоии зерини Умарӣ Хайём мебошад:

$$\mathcal{L} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Хайём, агар зи бода мастӣ, хуш бош!} \\ \text{Гар бо санаме даме нишастӣ, хуш бош!} \\ \text{Поёни ҳама кори ҷаҳон нестӣ аст,} \\ \text{Пиндор, ки нестӣ, чу ҳастӣ, хуш бош!} \end{array} \right\} \quad (1)$$

Дар асоси марҳилаи дуҷуми алгоритми пешниҳодшуда, объекти ибтидоии $\mathcal{L}$ ба ҷузъҳои таркибиаш таҷзия карда мешавад. Ин ҷузъҳо ҳиҷо, инчунин аломатҳои китобатӣ махсус ва дигар унсурҳои ҷумларо дар бар мегиранд. Дар натиҷаи ин амал, объект шакли нави $\mathcal{L}_1$ -ро пайдо мекунад, ки намуди зерин дорад:

$$\mathcal{L}_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{Хай} - \text{ём}, \text{а} - \text{гар зи бо} - \text{да мас} - \text{тй}, \text{хуш бош!} \\ \text{Гар бо са} - \text{на} - \text{ме да} - \text{ме ни} - \text{шас} - \text{тй}, \text{хуш бош!} \\ \text{По} - \text{ё} - \text{ни ҳа} - \text{ма ко} - \text{ри ча} - \text{ҳон нес} - \text{тй аст}, \\ \text{Пин} - \text{дор}, \text{ки нес} - \text{тй}, \text{чу ҳас} - \text{тй}, \text{хуш бош!} \end{array} \right\} \quad (2)$$

Бо дарназардошти аломатҳои мавҷудаи объект, калиди ёрирасон таҳия карда мешавад. Рамзҳои ҷойгузини ин калид аз ҷадвалии стандартии ASCII ё UNICODE интихоб гардида, бояд ҳатман аз аломатҳои ҳуди объекти $\mathcal{L}$ фарқ кунанд. Истифодаи аломати сархат (абзатс) дар калиди ёрирасон барои он зарур аст, ки сохтори аслии объект ҳангоми раванди табдилдиҳии баръакс (аксбадалсозӣ) комилан нигоҳ дошта шавад. Фарз мекунем, ки ин калид намуди зерин дорад:

$$K_{\bar{e}} = \{ \rightarrow s, ! \rightarrow v, \leftarrow h, \downarrow \rightarrow t \} \quad (3)$$

Бо истифода аз калиди таҳишудаи ёрирасон $K_{\bar{e}}$ объекти $\mathcal{L}$ -ро ба шакли пайдарпаии унсурҳои меорем, ки он $\mathcal{L}_2$ чунин намудро мегирад:

$$\mathcal{L}_2 = \left\{ \begin{array}{l} \text{Хай} - \text{ём} \text{ } s \text{ } h \text{ } a - \text{гар} \text{ } h \text{ } \text{зи} \text{ } h \text{ } \text{бо} - \text{да} \text{ } h \text{ } \text{мас} - \text{тй} \text{ } s \text{ } h \text{ } \text{хуш} \text{ } h \text{ } \text{бош} \text{ } v \text{ } t \\ \text{Гар} \text{ } h \text{ } \text{бо} \text{ } h \text{ } \text{са} - \text{на} - \text{ме} \text{ } h \text{ } \text{да} - \text{ме} \text{ } h \text{ } \text{ни} - \text{шас} - \text{тй} \text{ } s \text{ } h \text{ } \text{хуш} \text{ } h \text{ } \text{бош} \\ v \text{ } t \text{ } \text{По} - \text{ё} - \text{ни} \text{ } h \text{ } \text{ҳа} - \text{ма} \text{ } h \text{ } \text{ко} - \text{ри} \text{ } h \text{ } \text{ча} - \text{ҳон} \text{ } h \text{ } \text{нес} - \text{тй} \text{ } h \text{ } \text{аст} \text{ } s \\ t \text{ } \text{Пин} - \text{дор} \text{ } s \text{ } h \text{ } \text{ки} \text{ } h \text{ } \text{нес} - \text{тй} \text{ } s \text{ } h \text{ } \text{чу} \text{ } h \text{ } \text{ҳас} - \text{тй} \text{ } s \text{ } h \text{ } \text{хуш} \text{ } h \text{ } \text{бош} \text{ } v \end{array} \right\} \quad (4)$$

Дар марҳилаи навбатӣ, дар заминаи унсурҳои дохили объекти $\mathcal{L}_2$, мо алифбои хусусии бадалсозиро барои матни мазкур ташаккул медиҳем. Сохтори ин алифбо намуди зеринро касб мекунанд:

$$A_x = \{ \text{Хай}, \text{ём}, \text{а}, \text{гар}, \text{зи}, \text{бо}, \text{да}, \text{мас}, \text{тй}, \text{хуш}, \text{бош}, \text{Гар}, \text{са}, \text{на}, \text{ме}, \text{ни}, \text{шас}, \\ \text{По}, \text{ё}, \text{ҳа}, \text{ма}, \text{ко}, \text{ри}, \text{ча}, \text{ҳон}, \text{нес}, \text{аст}, \text{Пин}, \text{дор}, \text{ки}, \text{чу}, \text{ҳас}, h, s, v, t \} \quad (5)$$

Аз унсурҳои дар алифбои хусусии бадалсозии объекти додашуда (5) истифода карда, яке аз варианти калиди бадалсозии асосии K_a -ро таҳия мекунем, ки дар он ҳар як унсур бо тарзи стахостикӣ ба унсури массиви якченака иваз карда мешавад, ки дар ҷадвали зерин оварда шудааст.

 Ҷадвали 1 - Калиди асосии бадалсозии K_a

 Table 1 - The primary key for K_a substitution

шас	Пин	ҳа	ё	на	бош	ме	Хай	ко	ҳас	s	аст
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}

ём	v	ни	бо	ма	Гар	хуш	гар	чу	ки	тй	ри
a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}

a	да	h	По	ча	ҳон	t	нес	са	мас	дор	зи
a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}	a_{29}	a_{30}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{36}

Бо татбиқи варианти таҳияшудаи калиди асосии K_a , объекти кушода, ки дар шакли (4) пешниҳод гардидааст, бадалсозӣ карда мешавад. Дар натиҷаи ин раванд, объекти нави бадалшудаи $\mathcal{L}_3$ ҳосил мегардад, ки он намуди зеринро дорад:

$$\mathcal{L}_3 = \left\{ \begin{array}{l} a_8 a_{13} a_{11} a_{27} a_{25} a_{20} a_{27} a_{36} a_{27} a_{16} a_{26} a_{27} a_{34} a_{23} a_{11} a_{27} \\ a_{19} a_{27} a_6 a_{14} a_{31} a_{18} a_{27} a_{16} a_{27} a_{27} a_5 a_7 a_{27} a_{26} a_7 a_{27} a_{15} \\ a_1 a_{23} a_{11} a_{27} a_{19} a_{27} a_6 a_{14} a_{31} a_{28} a_4 a_{15} a_{27} a_3 a_{17} a_{27} \\ a_9 a_{24} a_{27} a_{29} a_{30} a_{27} a_{32} a_{23} a_{27} a_{12} a_{11} a_{31} a_2 a_{35} a_{11} a_{27} \\ a_{22} a_{27} a_{32} a_{23} a_{11} a_{27} a_{21} a_{27} a_{10} a_{23} a_{11} a_{27} a_{19} a_{27} a_6 a_{14} \end{array} \right\} \quad (6)$$

Аз объекти бадалшудаи $\mathcal{L}$ бармеояд, ки он аз пайдарпаии массиви якченака иборат буда, ба кулфшиканҳо (хакерон, киберҷинояткорон ё шахсони алоҳидаи ҳавасманд) маънои муайянеро намерасонад. Онҳо танҳо дар ҳолати дастрас кардани варианти калиди асосӣ ва ёрирасон метавонанд онро ба объекти аввалин кушода баргардонид ба маънои он шинос гарданд.

Дар ҳолати бо ягон роҳ пайдо кардани баъзе аз маълумотҳои усули мазкур, ки миқдори вариантҳои калиди асосӣ аз r -и формулаи зерин $U = N_1!$, ки дар инҷо $N_1 = 36$ миқдори умумии унсурҳо дар алифбои хусусии бадалсозӣ буда $U \approx 3.72 \cdot 10^{41}$ мебошад, эҳтимолияти муайян кардани калиди асосӣ $U_1 = 1/N_1! \approx 0.27 \cdot 10^{-41}$ мешавад ва ҳангоми бадалсозии объектҳои матнии ҳаҷман калон миқдори унсурҳои алифбои хусусӣ мутаносибан меафзояд. Дар натиҷа миқдори вариантҳои калиди асосии бадалсозӣ боло меравад ва муайянсозии он низ хеле душвор (ҳисобкунии он ба беохири майл мекунад) мегардад.

Дар усули мазкур истифодаи ҷойивазкунии унсурҳои объекти бадалшуда барои муайянсозии объекти матнии кушода татбиқнашаванда мебошад, чунки он аз пайдарпаии массиви якченака иборат буда, танҳо дар ҳолати муайянсозии варианти калиди асосии таҳияшудаи бадалсозии дар ҷадвал овардашуда ва калиди ёрирасон имконияти он ҷой дорад. Агар ҳолати ҷойивазкуниро истифода кунем, ҳамаи унсурҳои объекти кушодаи дигаргуншудаи дар (6) оварда, ки миқдори унсурҳояш ба 81 баробар мебошад ва тасодуфан бо ягон роҳ ҳар як массиви он муайян шуда бошад, пас $81! \approx 5.8 \cdot 10^{120}$ ҷойивазкунӣ ҷой дорад ва он аз тамоми атомҳои (заррачаҳои хурд) дар галактикаи мо буда якҷанд маротиба зиёд мебошад ва онро (ҳисобкуниҳоро) на танҳо компютерҳои замонавӣ, ҳатто компютерҳои дар оянда сохташаванда (аз ҷумла квантӣ) низ қудрати муайян карданро надоранд. Яъне усули ҷойивазкунии дағал “брутфорс” - ҷустуҷӯи ҳамаҷониба (ё усули «нерӯи дағал», аз англ. brute force) - ин усули муайян ва ҳал кардани масъалаҳои риёзӣ ва криптографӣ мебошад, ки тавассути сараввал дида баромадан ва санҷидани тамоми вариантҳои имконпазир сурат мегирад, ғайри қобили қабул аст.

Аксбадалкунии объекти бадалшудаи $\mathcal{L}$ ва овардани он ба объекти кушодаи $\mathcal{L}$ тибқи талаботи банди 9-и алгоритми ҳалли масъала амалӣ карда мешавад.

Хулоса (Conclusions)

Бартариҳо ва хусусиятҳои асосии усули таҳияшударо метавон ба тариқи зайл ҷамъбаст намуд:

1. Хусусияти универсалӣ: Равиши пешниҳодшуда бо ягон забони мушаххас маҳдуд намегардад. Онро метавон беамоният барои ҳифзи маълумоти матнӣ дар забони ихтиёрӣ татбиқ намуд.

2. Муҳофизати базавӣ (Сатҳи якум): Бархилофи алгоритмҳои анъанавӣ, ки асосан ба ивазкунии рамзҳои символҳои алоҳида таъяс мекунад, дар ин усул воҳидҳои лингвистӣ ҳамчун унсурҳои асосии бадалсозӣ баромад мекунад. Ин муносибати нав сади аввалини мустаҳкамро дар баробари даҳлати беиҷозат ба вуҷуд меорад.

3. Ҳимояи иловагӣ ва ҳифзи сохтор (Сатҳи дуюм): Ҷорӣ намудани калиди ёрирасон на танҳо кафолат медиҳад, ки сохти аслии ҳуҷҷат ҳангоми аксбадалкунӣ пурра барқарор шавад, балки он ҳамчун қабати дуюми амниятӣ амал карда, сатҳи муҳофизати маълумотро баланд мебардорад.

4. Муқовимат муқобили криптоҳаҷл: Яке аз дастовардҳои муҳимтарини ин алгоритм он аст, ки вай имконияти татбиқи таҳлили басомадии униграммавиро (яъне ошкорсозӣ тавассути ҳисоби такроршавии символҳо) комилан бекор месозад. Маҳз ҳамин намуди таҳлил силоҳи маъмултарини кулфшиканон ва ҳакерон ба шумор меравад, аммо усули пешниҳодшуда ин осебпазирро аз байн мебардад.

Муҷарриз: Мирзоев С.Х. – д.и.т., профессори кафедраи информатикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон.

Адабиёт

1. Виженер Б. Трактат о шифрах / пер. с фр. — М.: Наука, 1996.

2. Шеннон К. Теория связи в секретных системах // Работы по теории информации и кибернетике. — М.: ИЛ, 1963. — С. 333–402.
3. Басалова Г.В. Основы криптографии. Тула: Изд-во Тульского государственного университета, 2009.
4. Бернет С., Пэйн С. Криптография. Официальное руководство RSA Security. М.: Бином, 2007.
5. Левин М. Криптография без секретов: Руководство пользователя. М.: Новый издательский дом, 2005.
6. Мао В. Современная криптография. Теория и практика. М.: Вильямс, 2005. 763 с.
7. Шнайер Б., Фергюсон Н. Практическая криптография. М.: Диалектика, 2005.
8. Сингх С. Книга шифров. Тайная история шифров и их расшифровки. М.: Аст, Астрель, 2006. 447 с.
9. Бауэр Ф. Расшифрованные секреты. Методы и принципы криптологии. М.: Мир, 2007. 550 с.
10. Гафуров, М. Х. Об одном способе шифрования объекта с использованием элементов языка / М. Х. Гафуров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 2 (62). С. 22-29. EDN: GABKCE.
11. Гафуров, М. Х. Шифрование элементов текста матричным и оператор - матричным методами / М. Х. Гафуров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2024. № 4 (68). С. 30-35. EDN: NKNVOJ.
12. Гафуров, М. Х. Такмили усули Виженер дар бадалсозии объектҳои матнӣ / М. Х. Гафуров // Паёми политехникӣ. Бахши: Интеллект, Инноватсия, инвестиция. 2025. №. 2(70). Р. 67-71. – EDN ZWPXCB.
13. Гафуров, М. Х. Об одном способе шифрования текстовых объектов с использованием нумерации его элементов / М. Х. Гафуров // Доклады Национальной академии наук Таджикистана. 2025. Т. 68, № 7. С. 655-664. – EDN PUIVMF.
14. Гафуров, М. Х. Шифрования текстовых элементов с использованием метода Виженера / М. Х. Гафуров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2026. № 1(73). – С. 99-110. – DOI 10.65599/III3531. – EDN VSNQBE.

Reference

1. Vigenère, B.. Traicté des Chiffres ou Secrètes Manières d'Ecrire [Treatise on Ciphers]. (Transl. from French). Moscow: Nauka, 1996.
2. Shannon, C. E. Communication Theory of Secrecy Systems. In Works on Information Theory and Cybernetics (pp. 333–402). Moscow: IL, 1963.
3. Basalova, G. V. Fundamentals of Cryptography. Tula: Tula State University Publishing House, 2009.
4. Burnett, S., & Paine, S. RSA Security's Official Guide to Cryptography. Moscow: Binom, 2007.
5. Levin, M. Cryptography Without Secrets: A User's Guide. Moscow: Novy Izdatelsky Dom, 2005.
6. Mao, W. Modern Cryptography: Theory and Practice. Moscow: Williams, 2005.
7. Schneier, B., & Ferguson, N. Practical Cryptography. Moscow: Dialektika, 2005.
8. Singh, S. The Code Book: The Science of Secrecy from Ancient Egypt to Quantum Cryptography. Moscow: Ast, Astrel, 2006.
9. Bauer, F. L. Decrypted Secrets: Methods and Maxims of Cryptology. Moscow: Mir, 2007.
10. Gafurov, M. Kh. On a method of object encryption using language elements. Polytechnical Bulletin. Series: Intelligence. Innovations. Investments. 2023. (2), 22-29. EDN: GABKCE.
11. Gafurov, M. Kh. Encryption of text elements by matrix and operator-matrix methods. Polytechnical Bulletin. Series: Intelligence. Innovations. Investments. 2024. (4), 30-35. EDN: NKNVOJ.
12. Gafurov, M. Kh. Improvement of the Vigenère method in the substitution of text objects. Polytechnical Bulletin. Section: Intelligence, Innovation, Investment. 2025. (2), 67-71. EDN: ZWPXCB.
13. Gafurov, M. Kh. On a method of encrypting text objects using the numbering of its elements. Reports of the National Academy of Sciences of Tajikistan. 2025. 68(7), 655-664. EDN: PUIVMF.
14. Gafurov, M. Kh. Encryption of text elements using the Vigenère method. Polytechnical Bulletin. Series: Intelligence. Innovations. Investments. 2026. (1), 99-110. DOI: 10.65599/III3531. EDN: VSNQBE.

Маълумот оид ба муаллифон:

Гафуров Миршафи Ҳамитович, номзади илмҳои техникӣ, дотсент, дотсенти кафедраи амнияти киберии системаҳои иттилоотии факултети технологияҳои рақамӣ, системаҳо ва ҳифзи иттилооти донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8173-7650>, E-mail: mirugaf56@gmail.com

Анварзода Далер Анвар, номзади илмҳои техникӣ, и.в. дотсенти кафедраи телекоммуникатсия ва технологияҳои шабакавии факултети технологияҳои рақамӣ, системаҳо

ва ҳифзи иттилооти донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1102-8140>, E-mail: daler@ttu.tj

Сведения об авторах:

Гафуров Миршафи Хамитович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры кибербезопасности информационных систем факультета цифровых технологий, систем и защиты информации Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8173-7650>, E-mail: mirugaf56@gmail.com

Анварзода Далер Анвар, кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры телекоммуникаций и сетевых технологий факультета цифровых технологий, систем и защиты информации Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1102-8140>, E-mail: daler@ttu.tj

Information about the authors:

Gafurov Mirshafi Hamitovich, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Cybersecurity of Information Systems, Faculty of Digital Technologies, Systems and Information Security, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8173-7650>, E-mail: mirugaf56@gmail.com

Anvarzoda Daler Anvar, PhD in Technical Sciences, Acting Associate Professor at the Department of Telecommunications and Network Technologies, Faculty of Digital Technologies, Systems and Information Security, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1102-8140>, E-mail: daler@ttu.tj

ИҚТИСОД ВА ИДОРАКУНИИ ХОҶАГИИ ХАЛҚ - ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ - ECONOMICS AND MANAGEMENT OF THE NATIONAL ECONOMY

УДК: 338.46: 338.47:338.467

DOI: 10.65599/III5504

АМСИЛАИ ИҚТИСОДИЮ РИЁЗИИ МУАЙЯНСОЗИИ ТАЛАБОТ БА МУСОФИРБАРӢ ДАР ШАҲРИ ДУШАНБЕ

Ф.М. Ҳамроев, О.М. Сайфуллоҳзода, Х.Ш. Раҷабова

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

Дар мақолаи мазкур бо мақсади муайян намудани талаботи аҳолии шаҳри Душанбе ба мусофирбарӣ ва тақмил додани ташкили идоракунии мусофирбарӣ дар шаҳр амсиласозии иқтисодию риёзӣ гузаронида шудааст. Амсилаи иқтисодию риёзии муайян намудани талаботи аҳолии ба мусофирбарӣ дар асоси интиҳоби омилҳои таъсиррасонанда ба талабот роҳандозӣ карда шудааст, ки ин омилҳо бо ҷалби мутахассисони соҳаи нақлиёт муайян ва интиҳоб шуданд. Натиҷаҳои бадастомада, метавонад аз тарафи субъектҳои фаъолияти нақлиёти мусофирбарӣ шаҳрӣ ҳангоми ташаққули амсилаи рушди инфрасохтори нақлиётии шаҳр дар марҳилаи дарозмуддат ба ҳисоб гирифта шавад.

Калидвожаҳо: нақлиёти мусофирбарӣ, экспертӣ, мусофирбарии шаҳрӣ, амсиласозии иқтисодию риёзӣ, ҷамлу нақли автомобилӣ мусофирон, омилҳои таъсиррасон.

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПРОСА НА ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ В ГОРОДЕ ДУШАНБЕ

Ф.М. Ҳамроев, О.М. Сайфуллоҳзода, Х.Ш. Раҷабова

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

В данной статье с целью определения потребности населения г. Душанбе в пассажирских перевозках и совершенствования организации управления пассажирскими перевозками в городе было проведено экономико-математическое моделирование. Экономико-математическая модель определения спроса населения на пассажирские перевозки реализована на основе отбора факторов, влияющих на спрос, причем эти факторы определялись и отбирались с привлечением специалистов в области транспорта. Полученные результаты могут быть учтены субъектами городской пассажирской транспортной деятельности при формировании модели развития транспортной инфраструктуры города на долгосрочную перспективу.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, эксперты, городской транспорт, экономико-математическое моделирование, пассажирские автомобильные перевозки, факторы влияния.

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING DEMAND FOR PASSENGER TRANSPORTATION IN THE CITY OF DUSHANBE

F.M. Khamroev, O.M. Sayfullahzoda, H.Sh. Radjabova

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

In this article, economic and mathematical modeling was carried out in order to determine the needs of the population of Dushanbe for passenger transportation and to improve the organization of passenger transportation management in the city. An economic and mathematical model for determining population demand for passenger transportation is implemented on the basis of selecting factors influencing demand, and these factors were determined and selected with the involvement of specialists in the field of transport. The obtained results can be taken into account by subjects of urban passenger transport activities when forming a model for the development of the city's transport infrastructure in the long term.

Keywords: passenger transport, experts, urban transport, economic and mathematical modeling, passenger automobile transportation, influencing factors.

Муқаддима (Introduction)

Дар шароити муосир ва рақамикунонӣ мавқеъ ва нақши нақлиёти шаҳрӣ бо назардошти таъмини рушди устувори инноватсионии корхонаҳои нақлиётӣ, фаъолият ва рушди ташкили идоракунии мусофирбарӣ бо истифода аз воситаҳои нақлиётии гуногун дар ҳатсайрҳои тарҳрезигардида, инчунин ба воситаи нақлиёти автомобилӣ сабуқрави таксомоторӣ дар шаҳри Душанбе тақвият меёбад. Таҳлилҳои гузаронидашуда дар боби дуҷуми кори таҳқиқотии мазкур нишон доданд, ки ҳиссаи зиёдро дар ташкили идоракунии мусофирбарии мамлакат, аз он ҷумла шаҳри Душанбе нақлиёти автомобилӣ мусофирбар ишғол менамояд. Ташкили идоракунии ҷамлу нақли автомобилӣ шаҳрӣ аз ҷониби корхонаҳои коммуналии воиҳди давлатӣ (ККВД)

ва нақлиёти автомобилии хусусӣ аз рӯи тарофаҳои аз ҷониби мақомоти иҷроияи ҳокимияти давлатӣ (МИХД) муқарраргардида амалӣ карда мешавад [7].

Дар шаҳри Душанбе фаъолияти мусофирбарӣ мувофиқи фармоиш ва дастури МИХД тавассути шабакаи мувофиқа гардонидашудаи хатсайрҳо, ки дар асоси омӯзиши селайи мусофирон муайян карда шудааст, роҳандозӣ мешавад. Омӯзиш ва таҳлилҳои гузаронидашуда дар ин самт нишон доданд, ки аз ҷиҳати сохтори ташкили идоракунии интиқоли автомобилии мусофирон, ҳаҷм ва сифати хизматрасониҳои нақлиётӣ дар шаҳрҳо нишон дод, ки дар мамлакат мавқеи намоёнро шаҳри Душанбе ишғол менамояд. Чӣ хеле аз таҳлили гузаронида маълум гардид, ҳаҷми ҳамлу нақли мусофирон бо автомобилҳо соли 2023 дар шаҳри Душанбе 356,2 млн. мусофирро ташкил дод, ки он ба 94,1% аз ҳаҷми умумии мусофирбарӣ баробар аст.

Шабакаи хатсайрҳои мусофирбарии фаъолияткунанда ва рушдбандаи шаҳр дар асоси татбиқ ва риояи ҳатмии нишондиҳандаҳои муайяни ташкили идоракунии ҳамлу нақли мусофирбарӣ ва ҳаракат дар роҳ бо таъмини амният, мувофиқати инфрасохтори роҳу нақлиётӣ он, аз ҷумла инфрасохтори энергетикӣ шаҳр пешниҳод карда мешавад [7]. Ташкил ва идораи мусофирбарӣ дар шаҳри Душанбе бо назардошти хатсайрҳои қаблан таҳия ва муайянгардида, инчунин ҷадвалҳои тасдиқгардидаи ҳаракати воситаҳои нақлиёт (ҳарчанд иҷрошаш ғайриқаноатбахш мебошад) барои рӯзҳои ҳафта татбиқ карда мешавад.

Мавод ва усули таҳқиқот (*Research materials and methods*)

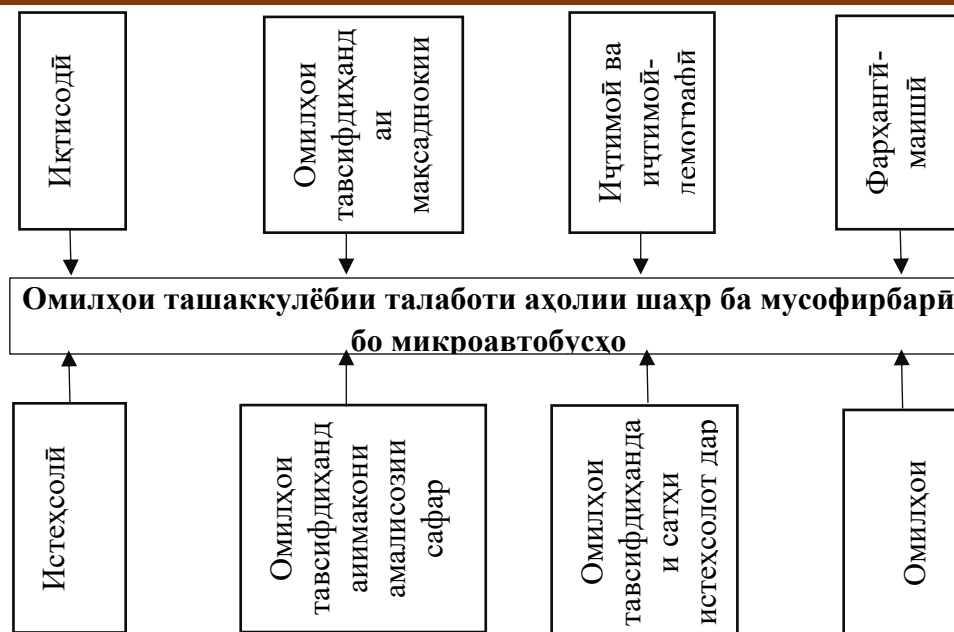
Таҳлили ташкили идоракунии мусофирбарӣ дар шаҳри Душанбе нишон медиҳад, ки дастур ва фармоишоти МИХД ба назардошти пурраи талаботи аҳоли ба мусофирбарӣ ва ба истифода аз натиҷаҳои омӯзиши селайи мусофирон роҳандозӣ карда мешавад, зеро таҳқиқоти зарурии селайи мусофирон дар хатсайрҳои амалкунанда дар солҳои тӯлонӣ ба таври зарурӣ гузаронида нашудааст. Ташкили идоракунии ҳамлу нақли мусофирон дар шаҳри Душанбе дар асоси маълумот доир ба миқдори воситаҳои нақлиётӣ мусофирбар, тарофаҳои пешаки муайянгардида ва шакли пардохти онҳо роҳандозӣ карда мешавад.

Дар баробари ин, қайд кардан бамаврид мебошад, ки дар низоми фаъолияткунандаи ташкили идоракунии ҳамлу нақли мусофирон аз сабаби асоснок набудан ва ё умуман муайян набудани нишондиҳандаҳои фаъолият, асноки тарофаҳои амалкунанда, инчунин номуайян будани меъёрҳои хароҷоти истифодабарии воситаҳои нақлиётӣ ва арзиши аслии ҳамлу нақл, пурра иҷро нагардидани баъзан аз фармоишҳои мақомоти дахлдор, ки яке аз онҳо пурра дар амал иҷро нагардидани пардохти ғайринақдӣ ҳаққи роҳиро як зумра камбудихо мавҷуданд [4,6,8].

Ҳалли масъалаҳои болозикр аз мақомоти дахлдори нақлиёти шаҳри Душанбе тақмили низоми ташкили идоракунии мусофирбариро дар шаҳр тақозо мекунанд. Вобаста ба ин, омӯзиш ва ошкор кардани омилҳоро, ки барои ташаққули талаботи аҳолии шаҳр ба мусофирбарӣ асос шуда метавонанд, муҳим меҳисобем ва ин омилҳо ба таври схемавӣ дар расми 1 оварда шудаанд [7].

Таҳлилҳо ва арзёбии ҳолати кунунии фаъолияти нақлиёти мусофирбарӣ шаҳр нишон дод, ки дар коркарди тавсияҳо доир ба беҳтар гардонидани ташкили идоракунии интиқоли нақлиёти автомобилии мусофирбарӣ шаҳр интиҳоби омилҳои ба онҳо таъсиррасонанда марҳилаи муҳим мебошад.

Барои муайянсозии омилҳои таъсиррасон ба фаъолияти нақлиёти мусофирбарӣ усулҳои гуногун, аз он ҷумла усули ташхисӣ, яъне муайянкунии омилҳои таъсиррасон ба талаботи мусофирон ба ҳамлу нақли микроавтобусӣ бо ҷалби коршиносон истифода бурда мешавад. Сатҳи мувофиқати ҳулосаи ҳар кадом коршинос ва ё мумайиз дар асоси арзёбии коэффитсиенти конкордатсия (W)-и Кендал муҳим мебошад [1,4,5].



Расми 1 – Омилҳои ташаккулёбии талаботи аҳолии шаҳр ба мусофирбарӣ
 Figure 1 – Factors shaping the urban population's demand for passenger transportation

Аз тарафи мо ба сифати коршиносон мутахассисони ККВД нақлиётӣ ва ширкатҳои хусусӣ, МД “Нақлиёти автомобилӣ ва хизматрасонии логистикӣ”, инчунин коршиносон ва олимони макотиби олии мамлакат ҷалб гардиданд. Аз натиҷаи пурсиши коршиносон арзёбии омории қимати W -и Кендал “бо ёрии χ^2 Пирсон, ки χ^2 – ба тақсимот бо адади озоди $(m-1)$ итоат менамояд” гузаронида шуд.

Мувофиқи натиҷаҳои ҳисоб мо чунин натиҷаҳоро ба даст овардем:

$$W = 0,564; \chi^2_{\text{расч.}} = 167,82; \chi^2_{\text{табл}} (\alpha = 0,07, k = m-1 = 25) = 34,50; \\ \chi^2_{\text{расч.}} = 167,82 > \chi^2_{\text{табл.}} = 34,50.$$

Аз натиҷаҳои бадастомада бармеояд, ки миёни мумайизон ҳангоми интихоби омилҳо мувофиқат дида мешавад.

Ҳангоми амсиласозии иқтисодию риёзии муайян намудани талабот ба мусофирбарии автомобилӣ дар шаҳри Душанбе гузаронида мешавад, ки дар асоси интихоби гузаронидашуда омилҳои муҳимтарини ба ҳаҷми хизматҳои расонидашаванда (Y – ҳаҷми мусофирбарӣ дар шаҳри Душанбе, млн. мус.) таъсиркунандаро мо ҷудо намудем: X_1 – шумораи умумии аҳоли дар ш. Душанбе, млн.нафар; X_2 – таъминнокии аҳоли бо автомобилҳои сабукрави шахсӣ дар ш. Душанбе, бо ҳисоби ба ҳар 1000 нафар аҳоли; X_3 – даромади миёнаи аҳолии ш. Душанбе, сомонӣ; X_4 – аъзои миёнаи оила дар ш. Душанбе, нафар; X_5 – маҷмуи маҳсулоти миллии ба ҳар сари аҳолии ш. Душанбе, сомонӣ; X_6 – ҳаҷми гардиши моли чакана дар ш. Душанбе, млн. сомонӣ; X_7 – хароҷоти хонаводагӣ барои пардохти ҳаққи мусофирбарӣ (ба 1 нафар аъзои оила дар давоми моҳ), сомонӣ; X_8 – хароҷоти воқеии буҷети ш. Душанбе барои нақлиёт млн. сомонӣ [7].

Натиҷаи таҳқиқот (Research findings)

Дар ҷадвали 1 параметрҳои ибтидоӣ барои гузаронидани таҳлили кореллятсиониву регрессионии ташаккули талабот ба мусофирбарии шаҳри Душанбе оварда шудааст.

Бо истифода аз ин нишондиҳандаҳо ва истифодаи барномаи стандартӣ, аз тарафи мо амсилаи иқтисодию риёзии талаботи аҳолии шаҳри Душанбе ба мусофирбарӣ таҳия гардид, ки натиҷаи он дар ҷадвали 2 оварда шудааст.

Мувофиқи маълумоти ҷадвали 2 [2] бузургии коэффитсиенти маҷмуавии коррелятсия – 0,991375 ва коэффитсиенти детерминатсия – 0,982825 аз адекватнокии амсилаи таҳиягардидаи ҳаҷми мусофирбарии шаҳри Душанбе шаҳодат медиҳад.

Ҷадвали 1—Тамоюли таъйирёбии нишондиҳандаи омилҳои ба ҳаҷми умумии мусофирбарӣ таъсиррасон дар давоми солҳои 2010-2023 дар шаҳри Душанбе

Table 1 – Trends in the indicators of factors affecting total passenger transportation volume in Dushanbe (2010–2023)

Солҳо	Ҳаҷми мусофирбарӣ дар шаҳри Душанбе, млн. мус. (У)	Шумораи умумии аҳоли дар ш.Душанбе, млн. одам, (X ₁)	Таъминнокии аҳоли бо автомобилҳои сабукрави шахсӣ дар ш.Душанбе, бо ҳисоби ба ҳар 1000 нафар аҳоли (X ₂)	Даромади миёнаи аҳолии ш.Душанбе, сомонӣ (X ₃)	Аъзои миёнаи оила дар ш.Душанбе, нафар (X ₄)	Маҷмуи маҳсулоти миллии ба ҳар сари аҳолии ш. Душанбе, сомонӣ (X ₅)	Ҳаҷми гардиши моли чакана дар ш.Душанбе, млн. сомонӣ (X ₆)	Ҳароҷоти хонаводагӣ барои пардохти ҳаққи ҳамагуна нақли мусофирбарӣ (ба 1 нафар аъзои оила дар давоми моҳ), сомонӣ (X ₇)	Ҳароҷоти воқеии бучети ш.Душанбе барои нақлиёт млн. сомонӣ (X ₈)
2010	153,0	0,7311	53,0	255,21	4,9	7214,5	1005,0	8,35	8,95
2011	150,1	0,748	54,0	272,03	4,9	8516,4	1153,6	8,52	11,17
2012	152,5	0,7643	60,0	278,48	4,9	9790,6	1589,4	11,60	12,84
2013	149,5	0,7758	60,0	309,25	4,9	11451,0	2204,4	11,80	12,04
2014	150,6	0,7886	66,0	361,75	5,0	12009,1	2628,3	12,0	11,70
2015	160,4	0,8027	67,0	372,6	5,0	13138,7	2950,5	11,52	13,80
2016	161,6	0,8162	73,0	380,7	5,1	13166,4	3321,8	13,60	15,14
2017	168,9	0,8314	69,0	409,14	5,2	14337,2	3742,2	14,10	21,31
2018	191,4	0,8464	68,0	409,85	5,3	16459,6	4464,3	14,62	28,3
2019	220,4	0,8634	68,0	559,64	5,4	17708,1	5583,2	14,8	43,7
2020	203,7	1,1854	80,0	696,1	4,7	17866,3	6357,2	15,14	66,8
2021	216,3	1,2018	61,0	903,91	4,8	15839,3	7990,4	11,59	79,1
2022	234,3	1,2211	82,0	1147,52	4,8	18587,5	9352,4	13,57	121,1
2023	244,2	1,2426	88,0	1715,92	4,9	21449,4	10621,0	14,83	123,8

Сарчашма: дар асоси Омори солонаи шаҳри Душанбе.-Душанбе: АСПРТ, 2024.-447с. тартиб дода шудааст

Чадвали 2 – Натиҷаи амсиласозии иқтисодию риёзии ҳаҷми мусофирбарӣ дар ш. Душанбе
Table 2 – Results of economic-mathematical modeling of passenger traffic volume in Dushanbe

Амсилаи иқтисодию риёзӣ мусофирбарӣ дар шаҳри Душанбе	Омилҳо
$Y = -369,596 + 138,0058 * X_1 - 0,78412 * X_2 + 0,003753 * X_3 + 90,23318 * X_4 + 3,31791 * X_5 - 10,9161 * X_6 - 0,75134 * X_7 + 0,954873 * X_8$ $R = 0,991375; R^2 = 0,982825$	Y – ҳаҷми мусофирбарӣ дар шаҳри Душанбе, млн. мус. X_1 – шумораи умумии аҳоли, млн. нафар X_2 – таъминнокии аҳоли бо автомобилҳои сабукрави шахсӣ дар ш. Душанбе, бо ҳисоби ба ҳар 1000 нафар X_3 – даромади миёнаи аҳоли, сомонӣ X_4 – аъзои миёнаи оила дар ш. Душанбе, нафар X_5 – маҷмуи маҳсулоти миллӣ ба ҳар сари аҳоли, сомонӣ X_6 – ҳаҷми гардиши моли чакана, млн. сомонӣ X_7 – хароҷоти хонаводагӣ барои пардохти ҳаққи ҳамлу нақли мусофирбарӣ (ба 1 нафар аъзои оила дар давоми моҳ), сомонӣ X_8 – хароҷоти воқеии буҷети ш. Душанбе барои нақлиёт, млн. Сомонӣ

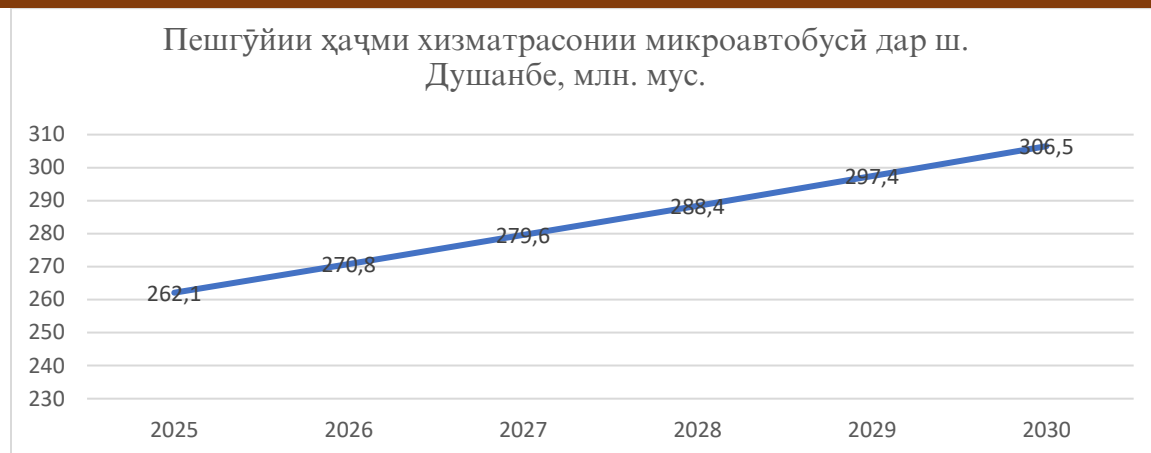
Дар амсилаи риёзии ҳаҷми мусофирбарӣ омилҳои X_1 – шумораи умумии аҳоли, млн. нафар, X_3 – даромади миёнаи аҳоли, сомонӣ, X_5 – таъминнокии аҳоли бо автомобилҳои сабукрави шахсӣ дар ш. Душанбе, бо ҳисоби ба ҳар 1000 нафар, X_6 – ҳаҷми гардиши моли чакана, млн. сомонӣ, X_7 – хароҷоти хонаводагӣ барои пардохти ҳаққи ҳамлу нақли мусофирбарӣ (ба 1 нафар аъзои оила дар давоми моҳ), сомонӣ ба ҳаҷми мусофирбарӣ таъсири манфӣ доранд, ки онро бо он асоснок намудан мумкин аст, ки бо баланд гардидани даромади аҳоли қисми зиёди мусофирон аз хизматрасонии автомобилҳои сабукрави таксомоторӣ истифода мебаранд ва рӯз ба рӯз зиёд гардидани шумораи ин намуд воситаи нақлиёти дар шаҳр худ гувоҳи гуфтаҳои болозикр мебошад. Яке аз сабабҳои асосии истифодаи зиёди хизматрасониҳои автомобилҳои сабукрави таксӣ ин болоравии даромади аҳоли бошад, сабаби дигар ин нисбат ба тарифҳои ҷаҳонӣ хеле паст будани арзиши ин намуд хизматрасониҳо мебошад.

Гузашта аз ин, амсилаи бисёромилаи регрессионӣ қиматнок аст ва барои муайян намудани талаботи аҳолии шаҳри Душанбе ба мусофирбарӣ имкон медиҳад ва ҳисобҳои гузаронидашудаи пешгӯии талабот дар чадвали 3 ва расми 2 оварда шудааст.

Чадвали 3 – Натиҷаҳои пешбинии ҳаҷми мусофирбарӣ дар ш. Душанбе дар давраи то соли 2030
Table 3 – Forecasted passenger transport volumes in Dushanbe for the period up to 2030

Нишондиҳанда	2026	2027	2028	2029	2030	Соли 2030 нисбат ба соли 2026 бо %
Ҳаҷми хизматрасонии микроавтобусӣ дар ш. Душанбе, млн. мус.	270,8	279,6	288,4	297,4	306,5	113,17

Сарчашма: ҳисоби муаллиф



Расми 2 – Тасвири графикии пешгӯии ҳаҷми мусофирбарӣ дар шаҳри Душанбе барои солҳои 2025-2030
Figure 2 – Graphical representation of the passenger traffic volume forecast for the city of Dushanbe for the years 2025–2030

Хулоса (Conclusion)

Мувофиқи маълумоти қадвали 3.5 ва расми 26 дар соли 2030 дар муқоиса ба соли 2026 ҳаҷми хизмати нақлиёти автомобилӣ мусофирбари шаҳрӣ тавассути микроавтобусҳо дар шаҳри Душанбе ба 13,17% меафзояд ва ин коркарди тавсияҳо барои рушди устувори инноватсионии муассисаҳои нақлиёти шаҳрро дар асоси такмили механизми ташкили идоракунии мусофирбарӣ дар самти татбиқи стратегия ва барномаҳои шаҳри Душанберо тақозо менамояд. Илова бар ин, мақомоти дахлдори нақлиёти шаҳр ва субъектҳои фаъолияти соҳибкорӣ метавонанд натиҷаҳои бадастомадаро тақмил ва рушди инфрасохтори нақлиёти шаҳр ва корхонаҳоро дар марҳилаҳои оянда ба инобат гиранд.

Муқарриз: Раҷабов Р.К. – д.и.и., профессори Донишгоҳи тиҷорати Ҷоҷикӯстон.

Адабиёт

1. Зубайдов С., Хамроев Ф.М. Моделирование устойчивости системы управления и движения товаров на субъекте потребительского рынка/Зубайдов С., Хамроев Ф.М. // Экономика Таджикистана - Душанбе: Институт экономики и демографии АН РТ, 2023. - №4. – С. 65-72.
2. Маҷмуаи оморӣ солонаи шаҳри Душанбе // Саридораи АОНПҚТ дар ш. Душанбе, 2024.-527с.
3. Раджабов Р.К., Хамроев Ф.М. Экономико-математическое моделирование развития и размещения регионального транспортно-дорожного комплекса / Раджабов Р.К., Хамроев Ф.М.// Вестник Таджи-кского технического университета (Научный журнал). №3 (31), 2015. С.208-216.
4. Файзуллоева С.Дж. Развитие системы организации управления услугами городского пассажирского автомобильного транспорта (на материалах города Душанбе): дисс. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / С.Дж. Файзуллоева .- Душанбе, 2019. - 197 с.
5. Факеров Х.Н., Хамроев Ф.М. Методология анализа и оценки системы показателей, характеризующих состояние и развитие рынка транспортных услуг /Факеров Х.Н., Хамроев Ф.М.// Экономика Таджикистана - Душанбе: Институт экономики и демографии АН РТ, 2018. - №3. С.65-72.
6. Хамроев Ф.М., Гадоева Ф.С. Рынок оказания услуг регулярного пассажирского автомобильного транспорта в условиях рыночной экономики: Под редакцией д.э.н., профессора Раджабова Р.К. –Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2021 - 181 с.
7. Хамроев Ф.М., Сайфуллоева О.М. Амсилаи иқтисодию риёзии муайян намудани талабот ба мусофирбарӣ бо микроавтобусҳо ва пешгӯии онҳо дар шаҳри Душанбе [Матн] / О.М. Сайфуллоева, // Номаи донишгоҳ, МДТ. “Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Бобочон Ғафуров”. Силсилаи илмҳои табиатшиносӣ ва иқтисодӣ. 2025 №1(72). С.59-66.
8. Ходжаев П.Д. Инновационное развитие рынка услуг пассажирского автомобильного транспорта в Республике Таджикистан (теория, методология, практика): Дисс. ... докт. экон. наук: 08.00.05 / П.Д. Ходжаев .- Душанбе, 2016. - 354 с.

References

1. Zubaidov S., Khamroev F.M. Modeling the stability of the control system and the movement of goods in the subject of the consumer market / Zubaydov S., Khamroev F.M. // Economy of Tajikistan - Dushanbe: Institute of Economics and Demography of AN RT, 2023. - №4. - S. 65-72.
2. The collection of annual statistics of the city of Dushanbe // Head Office of the National Economic and Social Committee in Sh. Dushanbe, 2024.-527p.
3. Radjabov R.K., Khamroev F.M. Economic-mathematical modeling of the development and deployment of the regional transport-road complex / Radjabov R.K., Khamroev F.M.// Bulletin of the Tajik Technical University (Scientific journal). No. 3 (31), 2015. P. 208-216.
4. Faizulloeva S.J. Development of the management system of urban passenger car transport services (not materials of the city of Dushanbe): diss. ... sugar. economy science: 08.00.05 / S.J. Faizulloeva .- Dushanbe, 2019. - 197 c.
5. Fakerov H.N., Khamroev F.M. Methodology of analysis and evaluation of the system of indicators characterizing the state and development of the transport services market /Fakerov H.N., Khamroev F.M.// Economy of Tajikistan - Dushanbe: Institute of Economics and Demography of AN RT, 2018. - №3. P. 65-72.
6. Khamroev F.M., Gadoeva F.S. The market of regular passenger car transport services in the conditions of the market economy: Under the editorship of D.E.N., Professor Radjabova R.K. -Monday: TTU named after Acad. M.S. Osimi, 2021 - 181 p.
7. Hamroev F.M., Sayfulloeva O.M. An economic-mathematical model for determining and forecasting the demand for passenger transportation by minibus in the city of Dushanbe [Text] / O.M. Sayfulloeva // *University Bulletin*, SEI "Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov". Series: Natural and Economic Sciences. 2025, No. 1(72), pp. 59–66.
8. Khodjaev P.D. Innovative development of the passenger road transport services market in the Republic of Tajikistan (theory, methodology, practice): Dissertation for the degree of Doctor of Economic Sciences: 08.00.05 / P.D. Khodjaev. – Dushanbe, 2016. – 354 p.

Маълумот оид ба муаллифон:

Ҳамроев Фузайли Маҳмадалиевич, доктори илмҳои иқтисодӣ, профессор ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ. E-mail: fuzyl@mail.ru

Сайфуллохзода Олуфта Мирулло, доктор Phd, ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Рачабова Хубон Шораҷабовна, муаллими калон, ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Сведения об авторах:

Хамроев Фузайли Махмадалиевич доктор экономических наук, профессор ТТУ имени акад. М.С. Осими. E-mail: fuzyl@mail.ru

Сайфуллохзода Олуфта Мирулло доктор PhD, ТТУ имени акад. М.С. Осими

Раджабова Хубон Шораджабовна старший преподаватель ТТУ имени акад. М.С. Осими

Information about the authors:

Khamroev Fuzaili Makhmadalievich Doctor of Economics, Professor TTU named after acad. M.S. Osimi
E-mail: fuzyl@mail.ru

Sayfullohzoda Oluftha Mirullo PhD student TTU named after acad. M.S. Osimi

Radzhabova Khubon Shoradzhbovna senior lecturer TTU named after acad. M.S. Osimi

УГРОЗЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТРАСЛИ

З.М. Каримова

Душанбинский филиал Национального исследовательского технологического университета

«МИСИС» в г. Душанбе, Республика Таджикистан

В статье исследуются угрозы экономической безопасности строительного комплекса Республики Таджикистан и оценивается их влияние на устойчивость отрасли в условиях макроэкономической нестабильности и трансформации национальной экономики. Цель исследования заключается в выявлении и систематизации внутренних и внешних угроз, определении основных каналов их воздействия на устойчивость строительного комплекса и обосновании направлений совершенствования механизмов экономической безопасности. На основе анализа официальных статистических данных рассмотрена динамика развития строительного сектора, его вклад в формирование валового внутреннего продукта, инвестиционная активность и объёмы ввода жилья. Выявлены и систематизированы внутренние и внешние угрозы экономической безопасности строительного комплекса, определены основные направления их воздействия на финансово-экономические показатели строительных организаций. С использованием SWOT-анализа проведена комплексная оценка факторов внутренней и внешней среды, позволившая определить стратегические уязвимости и потенциал устойчивого развития отрасли. Обоснована необходимость формирования системного механизма обеспечения экономической безопасности строительного комплекса, ориентированного на снижение рисков, повышение инвестиционной привлекательности и обеспечение долгосрочной устойчивости отрасли. Полученные результаты могут быть использованы при разработке отраслевых программ развития и совершенствовании государственной политики в сфере строительства.

Ключевые слова: экономическая безопасность, строительный комплекс, устойчивость отрасли, риски, угрозы, SWOT-анализ, Таджикистан, инвестиции, макроэкономическая нестабильность.

ТАҲДИДҲОИ АМНИЯТИ ИҚТИСОДИ ДАР КОМПЛЕКСИ СОҲТМОНӢ ВА ТАЪСИРИ ОНҲО БА УСТУВОРИИ СОҶА

З.М. Каримова

Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқоти технологӣ “МИСИС” дар ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола таҳдидҳои амнияти иқтисодии комплекси сохтмони Ҷумҳурии Тоҷикистон баррасӣ шуда, таъсири онҳо ба устувории соҳа дар шароити ноустувории макроиқтисодӣ ва табилолоти иқтисодии милли арзёбӣ мешавад. Мақсади таҳқиқот аз муайян ва ғуруҳбандӣ намудани таҳдидҳои дохилӣ ва беруна, муайян кардани самтҳои асосии таъсири онҳо ба устувории комплекси сохтмонӣ ва асоснок намудани самтҳои тақмили механизмҳои таъмини амнияти иқтисодӣ иборат мебошад. Дар асоси таҳлили маълумоти расмӣ омории мақола, динамикаи рушди соҳаи сохтмон, ҳиссаи он дар ташаққули маҷмуи маҳсулоти дохилӣ, ғайриқиятҳои сармоягузорӣ ва ҳаҷми ба истифода додани манзилҳо баррасӣ шудааст. Таҳдидҳои дохилӣ ва хориҷӣ ба амнияти иқтисодии комплекси сохтмонӣ муайян ва систематизатсия карда шуда, самтҳои асосии таъсири онҳо ба нишондиҳандаҳои молиявӣ ва иқтисодии ташкилотҳои сохтмонӣ муайян шудаанд. Бо истифода аз воситаҳои таҳлили SWOT арзёбии ҳамаҷонибаи омилҳои муҳити дохилӣ ва хориҷӣ гузаронида шуда, нуксонҳои стратегӣ ва имкониятҳои рушди устувори соҳа муайян карда шудаанд. Зарурати таҳияи механизми системавӣ барои таъмин намудани амнияти иқтисодии комплекси сохтмонӣ асоснок карда шудааст, ки ба кам кардани хатарҳо, баланд бардоштани ҷалбшавии сармоя ва таъмини устувории дарозмуддати соҳа равона шудааст. Натиҷаҳои ба дастода метавонанд дар таҳия ва тақмили барномаҳои рушди соҳа ва сиёсати давлатӣ дар соҳаи сохтмон истифода шаванд.

Калимаҳои калидӣ: амнияти иқтисодӣ, комплекси сохтмонӣ, устувории соҳа, хатарҳо, таҳдидҳо, таҳлили SWOT, Тоҷикистон, сармоягузорӣ, ноустувории макроиқтисодӣ.

THREATS TO THE ECONOMIC SECURITY OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY AND THEIR IMPACT ON THE SUSTAINABILITY OF THE INDUSTRY

Z.M. Karimova

Dushanbe Branch, National University of Science and Technology “MISIS,” Dushanbe, Republic of Tajikistan

This article examines threats to the economic security of the construction sector of the Republic of Tajikistan and assesses their impact on the sustainability of the industry amid macroeconomic instability and the transformation of the national economy. The study aims to identify and systematize internal and external threats, determine the main channels through which they affect the sustainability of the construction sector, and substantiate directions for improving economic security mechanisms. Based on an analysis of official statistical data, the study examines the development dynamics of the construction sector, its contribution to gross domestic product, investment activity, and housing commissioning volumes. Internal and external threats to the economic security of the construction sector are identified and systematized, and the main areas of their impact on the financial and economic performance of construction organizations are determined. Using SWOT analysis, a comprehensive assessment of internal and external environmental factors was conducted, making it possible to identify strategic vulnerabilities and the potential for sustainable development of the industry. The study substantiates the need to establish a systemic mechanism for ensuring the economic security of the construction sector, aimed at reducing risks, increasing investment attractiveness, and ensuring the long-term sustainability of the industry. The findings can be used in developing sectoral development programs and improving public policy in the construction sector.

Keywords: economic security, construction industry, industry sustainability, risks, threats, SWOT analysis, Tajikistan, investments, macroeconomic instability.

Введение (*Introduction*)

В условиях глобальных экономических трансформаций и усиления внешних и внутренних рисков проблема обеспечения экономической безопасности отраслей национальной экономики приобретает особую актуальность. Для Республики Таджикистан строительный комплекс выступает одной из ключевых системообразующих отраслей, обеспечивающих развитие инфраструктуры, жилищного строительства и социально-экономической сферы в целом. Вместе с тем строительный комплекс Таджикистана характеризуется высокой чувствительностью к макроэкономическим колебаниям, инвестиционным ограничениям и институциональным проблемам, что усиливает воздействие угроз экономической безопасности и снижает устойчивость отрасли. В этой связи особое значение приобретает научный анализ факторов и угроз, влияющих на экономическую безопасность строительного комплекса, а также оценка их последствий для устойчивого развития отрасли.

В соответствии с Законом Республики Таджикистан «О безопасности» экономическая безопасность трактуется как «состояние защищённости национальной экономики от внутренних и внешних условий, процессов и факторов, ставящих под угрозу её устойчивое развитие и экономическую независимость» [1].

В свою очередь, в указанном законодательстве угрозы безопасности рассматриваются как совокупность условий, процессов и факторов, препятствующих реализации национальных интересов либо создающих им опасность. Применительно к экономической сфере такие угрозы являются источниками потенциального ущерба, а риск характеризует вероятность их реализации и величину возможных последствий для устойчивости строительного комплекса.

Научная новизна и практическая значимость исследования (*Scientific novelty and practical significance of the study*)

Научная новизна исследования заключается в систематизации внутренних и внешних угроз экономической безопасности строительного комплекса Республики Таджикистан с использованием SWOT-анализа и в выявлении механизмов их влияния на устойчивость отрасли. Практическая значимость работы определяется возможностью использования полученных выводов при разработке отраслевых программ развития и мер по повышению экономической безопасности строительного комплекса.

Методология и методы исследования (*Research methodology and methods*)

Методологической основой исследования послужили положения теории экономической безопасности и устойчивого развития отраслевых систем. Исследование выполнено с использованием методов статистического анализа официальных данных [12-13], системного и структурно-функционального анализа, а также сравнительного анализа. Для выявления и классификации внутренних и внешних угроз экономической безопасности строительного комплекса применён SWOT-анализ [7], обеспечивший комплексную оценку факторов риска и возможностей устойчивого развития отрасли.

Основная часть (*Main Part*)

Экономическая безопасность отрасли представляет собой состояние защищённости её производственного, финансового, инвестиционного и кадрового потенциала от внутренних и внешних угроз, способных нарушать устойчивость функционирования и развития [2, 4, 12]. В отношении строительного комплекса данная категория приобретает комплексный характер, поскольку отрасль зависит от состояния смежных рынков, инвестиционного климата, финансовой системы и государственной политики. Устойчивость строительного комплекса определяется его способностью сохранять положительную динамику развития, адаптироваться к изменениям внешней среды и обеспечивать выполнение социально-экономических функций в долгосрочной перспективе [9]. В этом контексте экономическая безопасность выступает необходимым условием устойчивости отрасли.

Наряду с этим, одним из ключевых факторов, влияющих на устойчивость строительного комплекса, является состояние национальной экономики в целом, которое отражается в динамике

валового внутреннего продукта (ВВП). Так, в 2023–2024 гг. ВВП Республики Таджикистан демонстрировал устойчивый рост со среднегодовыми темпами около 8,3–8,4 % по данным статистики [13, с. 215], что свидетельствует о стабильном развитии экономики и формировании благоприятных макроэкономических условий. Экономический рост стимулирует инвестиционную активность и расширение объемов капитального строительства, создавая потенциал для развития строительной отрасли.

Для количественной оценки роли строительного комплекса в экономике и анализа его динамики рассмотрим ключевые показатели за период 2015–2024 годов. На рисунке 1 представлена динамика вклада строительного комплекса в ВВП Республики Таджикистан, что позволяет наглядно оценить влияние отрасли на экономическое развитие страны [13].

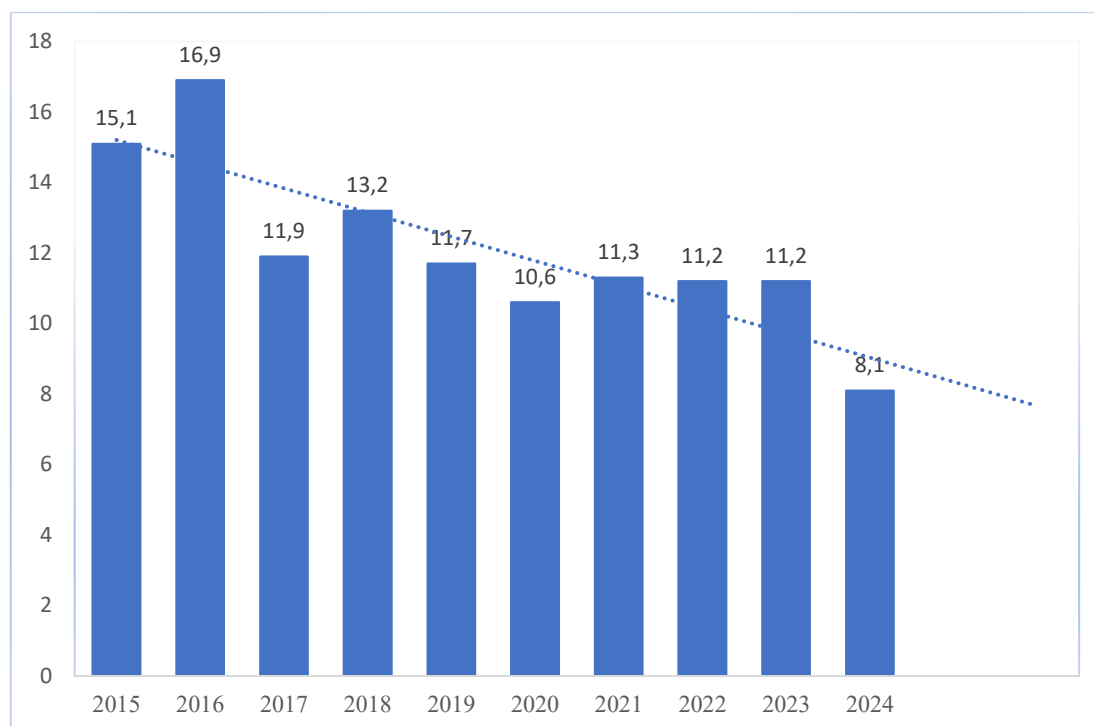


Рисунок 1 - Динамика вклада строительства в ВВП Республики Таджикистан за 2015-2024гг в %
Figure 1 – Dynamics of the Construction Sector's Contribution to the GDP of the Republic of Tajikistan, 2015–2024 (%)

Источник: составлено автором на основе данных [13]

Вклад строительного комплекса в ВВП Республики Таджикистан отражает динамику в процентах за период с 2015 по 2024 годы. В 2016 году данный показатель достиг максимального значения - 16,9 %, после чего наблюдалась устойчивая тенденция к снижению. К 2024 году вклад строительства в ВВП сократился до 8,1 %, что почти вдвое ниже максимального уровня 2016 года. Несмотря на отдельные колебания (например рост в 2018 и 2021 годах), общая динамика свидетельствует об относительном ослаблении роли строительного комплекса в структуре ВВП национальной экономики [13].

Динамика свидетельствует о том, что хотя строительный комплекс остаётся важной отраслью, его относительная роль в формировании ВВП уменьшается. Это может быть связано с изменениями в инвестиционном климате, перераспределением финансовых ресурсов в пользу других секторов экономики, а также с внутренними и внешними вызовами, оказывающими влияние на строительную отрасль.

Наряду с вкладом в ВВП, важнейшим индикатором состояния отрасли является инвестиционная активность, которая во многом определяет темпы развития и обновления строительного комплекса. На рисунке 2 представлена динамика инвестиций в строительный сектор за 2015–2024 гг., которая отражает изменения в активности инвесторов и доступности

финансовых ресурсов, оказывающих прямое влияние на возможности отрасли для роста и устойчивости [13-14].

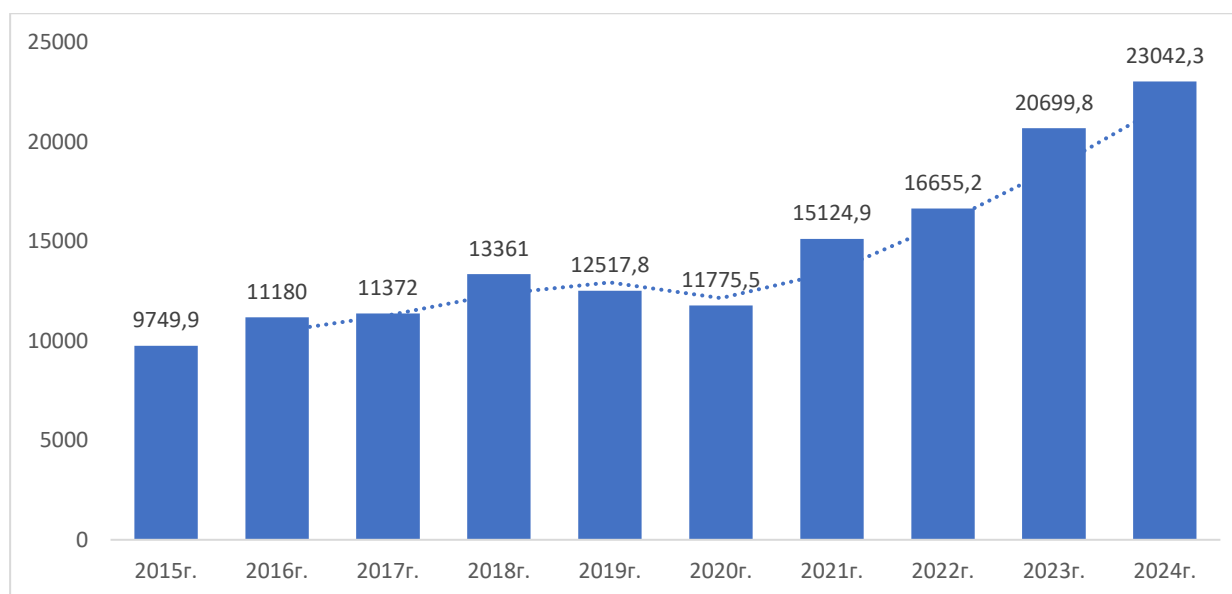


Рисунок 2 – Динамика инвестиций в строительный сектор Республики Таджикистан в 2015–2024 гг., млн. сомони.

Figure 2 – Dynamics of Investment in the Construction Sector of the Republic of Tajikistan, 2015–2024, million somoni

Источник: составлено автором на основе данных [12-13]

На рисунке 2 представлена динамика инвестиций в строительный сектор Республики Таджикистан в 2015–2024 гг., характеризующая изменение инвестиционной активности и масштабы привлечения финансовых ресурсов в отрасль.

Период относительно умеренной и неустойчивой динамики (2015–2020 гг.). Объем инвестиций увеличился с 9,7 до 11,8 млрд сомони. При этом динамика не была равномерной: после увеличения до 13,4 млрд сомони в 2019 г. в 2020 г. произошло снижение до 11,8 млрд сомони. Данное сокращение может быть связано с ухудшением макроэкономической конъюнктуры и ограничениями, вызванными пандемией COVID-19.

Период ускоренного роста (2021–2024 гг.). Начиная с 2021 г. наблюдается устойчивая восходящая динамика: объем инвестиций увеличился с 15,1 до 23,0 млрд сомони, то есть примерно на 52,3%. Наиболее значительный годовой прирост отмечен в 2023 г., когда объем инвестиций увеличился примерно на 4 млрд сомони. Такая динамика свидетельствует о расширении инвестиционной активности в строительном секторе и увеличении объемов финансирования строительных проектов.

В целом за 2015–2024 гг. объем инвестиций в строительный сектор увеличился с 9,7 до 23,0 млрд сомони, или примерно в 2,4 раза. Вместе с тем наличие существенного снижения в 2020 г. показывает чувствительность инвестиционной активности к внешним экономическим и кризисным воздействиям. Устойчивая положительная динамика последующих лет создаёт предпосылки для расширения строительного производства, однако одновременно актуализирует необходимость эффективного управления инвестиционными и экономическими рисками отрасли.

Однако сами по себе объёмы инвестиций не позволяют в полной мере оценить эффективность развития отрасли. Для комплексного анализа необходимо сопоставить инвестиционные потоки с их конечными результатами, прежде всего с физическим вводом жилья в эксплуатацию. В этой связи далее рассматривается динамика ввода жилья в Республике Таджикистан за 2015–2024 годы (рис. 3) [13-14].

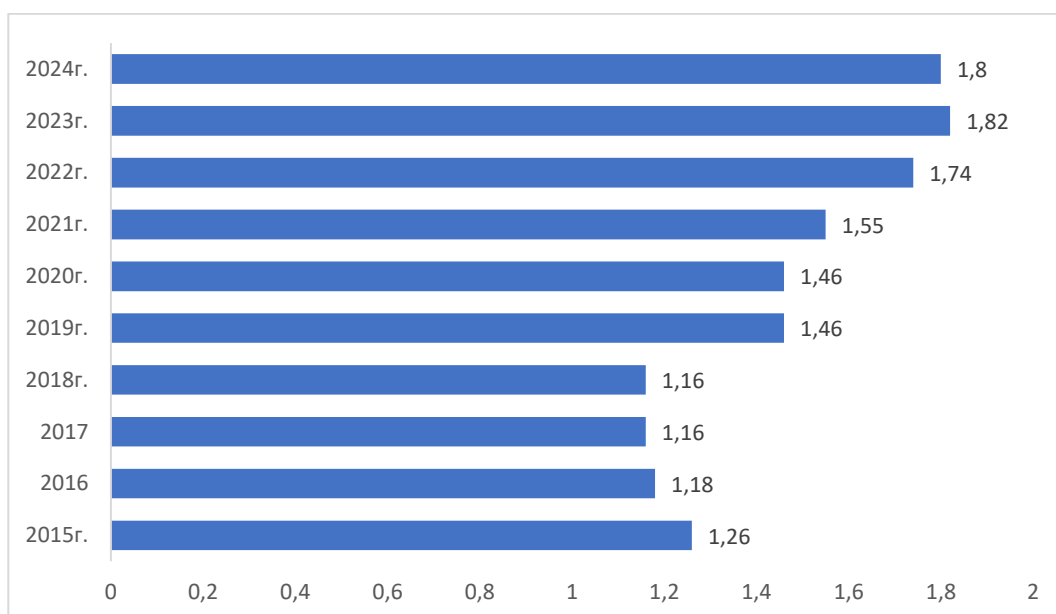


Рисунок 3 - Динамика ввода жилья в Республике Таджикистан в 2015–2024 гг., млн. м²
 Figure 3 – Dynamics of Housing Commissioning in the Republic of Tajikistan, 2015–2024, million m²
Источник: составлено автором на основе данных [13-14]

Данные по вводу жилья в Республике Таджикистан (рис.3) показывают устойчивый рост, однако его темпы заметно отстают от динамики инвестиций в строительный сектор.

Итак, 2015–2019 гг. характеризуются плавным и относительно стабильным развитием: объём ввода жилья вырос с 1,26 до 1,46 млн. м². Рост в этот период выглядел сбалансированным и, вероятно, обеспечивался преимущественно частными инвестициями.

С 2020 по 2024 гг. наблюдается ускорение строительства: объём ввода увеличился до 1,80 млн. м². Несмотря на более высокие темпы, рост остаётся умеренным в сравнении с масштабами инвестиционного притока.

Сопоставление с динамикой инвестиций показывает важную диспропорцию: за весь период объём инвестиций в строительство вырос более чем в 2,3 раза, тогда как физический ввод жилья — лишь примерно в 1,4 раза [13]. Это указывает на снижение эффективности использования инвестиций и рост удельных затрат на строительство.

Несмотря на активный рост инвестиций, увеличение объёмов ввода жилья происходит более медленными темпами, что свидетельствует о снижении инвестиционной эффективности и наличии структурных проблем в строительной отрасли.

Следует отметить, что несмотря на положительную макроэкономическую и отраслевую динамику, улучшение отдельных экономических показателей не всегда гарантирует долгосрочную устойчивость строительного комплекса. Отрасль остаётся уязвимой к широкому спектру угроз, имеющих как внутренний, так и внешний характер.

В рамках данного исследования под угрозой понимается потенциальное событие или воздействие, способное нанести ущерб экономическим интересам строительной отрасли либо отдельной организации [2]. Риск рассматривается как количественно измеримая вероятность реализации соответствующей угрозы и величина возможных потерь [5].

Таким образом, выявленные диспропорции в динамике инвестиций и физического ввода жилья обуславливают необходимость углублённого анализа факторов, формирующих угрозы экономической безопасности и устойчивого развития строительной отрасли.

Факторы угроз экономической безопасности (*Factors threatening economic security*)

Анализ показывает, что внутренние угрозы экономической безопасности строительного комплекса (рис. 4) формируются преимущественно под воздействием состояния самой отрасли, уровня её управляемости и эффективности использования ресурсов [9-10].

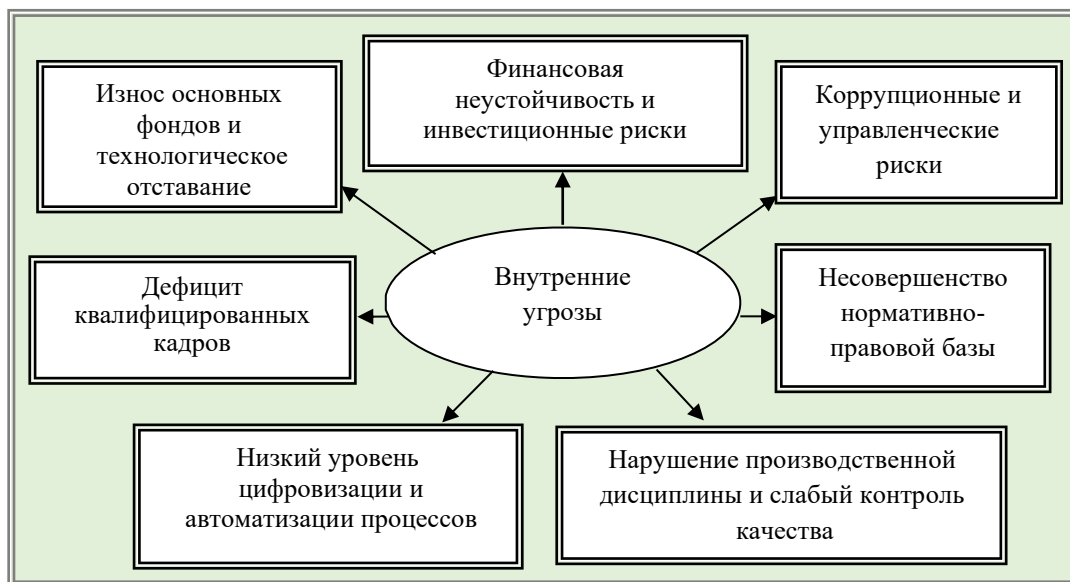


Рисунок 4 – Классификация внутренних угроз экономической безопасности строительного комплекса

Figure 4 – Classification of Internal Threats to the Economic Security of the Construction Sector

Источник: составлено автором на основе данных [9-10]

На рисунке 4 представлена классификация внутренних угроз экономической безопасности строительного комплекса. Анализ данной схемы позволяет выделить ключевые факторы, оказывающие негативное влияние на устойчивость и эффективность функционирования строительных организаций. К числу внутренних угроз экономической безопасности строительного комплекса относятся износ основных фондов и технологическое отставание, приводящие к снижению производительности труда, росту себестоимости и ухудшению качества строительной продукции. Финансовая неустойчивость и инвестиционные риски выражаются в ограниченном доступе к заемным ресурсам, высокой долговой нагрузке и дефиците долгосрочных инвестиций, что повышает вероятность приостановки и срыва строительных проектов. Коррупционные и управленческие риски обуславливают неэффективное использование ресурсов, рост издержек и снижение прозрачности деятельности организаций. Существенным фактором является дефицит квалифицированных кадров, ограничивающий реализацию сложных и технологически насыщенных проектов. Несовершенство нормативно-правовой базы снижает эффективность государственного регулирования и контроля в строительной сфере. Низкий уровень цифровизации и автоматизации, а также недостаточный контроль качества и нарушение производственной дисциплины негативно отражаются на надежности объектов и устойчивости функционирования строительных организаций [6, 11].

Помимо внутренних факторов, экономическая безопасность строительного комплекса подвержена воздействию внешних угроз, формирующихся за пределами отрасли и оказывающих существенное влияние на устойчивость и перспективы её развития. Классификация внешних угроз экономической безопасности строительного комплекса представлена на рисунке 5.

Анализ рисунка 5 показывает, что внешние угрозы экономической безопасности строительного комплекса носят многофакторный характер. К числу ключевых внешних угроз

относятся макроэкономические кризисы и рыночные шоки, обуславливающие снижение инвестиционной активности и платёжеспособного спроса. Существенное влияние оказывают геополитические факторы и внешнеэкономическая зависимость отрасли, повышающая её уязвимость к колебаниям мировых рынков и валютных курсов. Природно-климатические и техногенные риски, ценовые шоки на мировых рынках строительных ресурсов и усиление конкурентного давления приводят к росту издержек и снижению рентабельности проектов. Дополнительную угрозу представляют изменения в государственной экономической, налоговой и градостроительной политике, усложняющие реализацию инвестиционных проектов. В совокупности данные факторы формируют систему внешних рисков, требующую комплексного подхода к обеспечению экономической безопасности строительного комплекса [9-10].

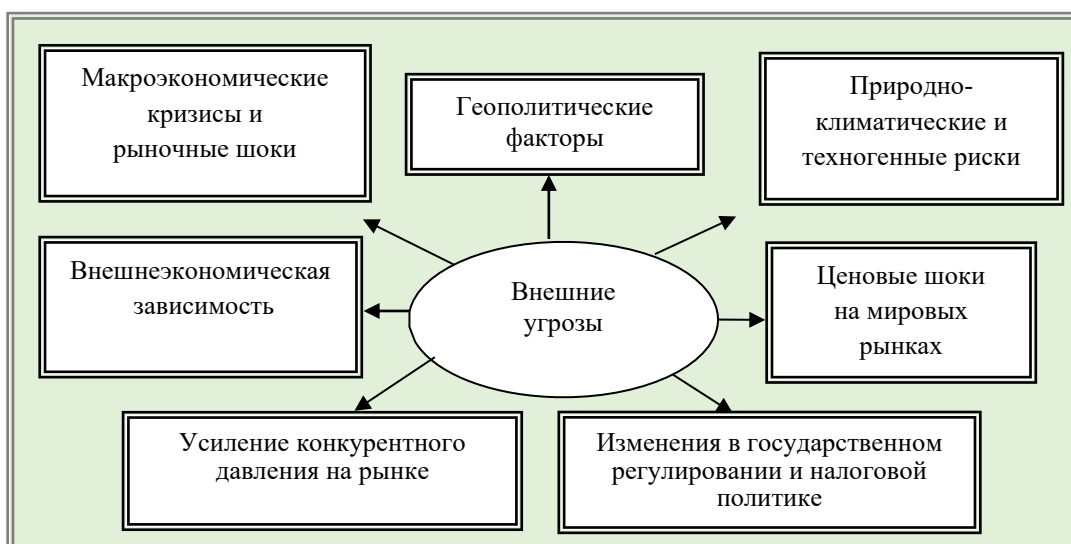


Рисунок 5 – Классификация внешних угроз экономической безопасности строительного комплекса

Figure 5 – Classification of External Threats to the Economic Security of the Construction Sector

Источник: составлено автором на основе данных [9-10]

SWOT-анализ строительного комплекса (SWOT analysis of the construction sector)

Выявленные внутренние и внешние угрозы носят системный характер для многих развивающихся стран, включая Республику Таджикистан, что подтверждает необходимость комплексного, а не точечного подхода. Для оценки устойчивости отрасли и выработки стратегических решений был проведён SWOT-анализ, позволяющий выявить сильные и слабые стороны отрасли, а также внешние возможности и угрозы.

SWOT-анализ позволяет систематизировать информацию о внутренних и внешних факторах влияния на строительный комплекс и определить стратегические направления для обеспечения экономической безопасности отрасли (табл. 1) [7-8; 14].

Как следует из таблицы 1, ключевые стратегические выводы SWOT-анализа показывают, что комбинация факторов типа W+T (защитная уязвимость) характеризуется повышенной чувствительностью строительной отрасли к внешним угрозам. Устаревшие технологии (W1) и недостаточный контроль качества строительства (W5) в условиях высокой сейсмичности (T3) формируют прямые риски для безопасности строительных объектов и подрывают доверие к отрасли.

Комбинация факторов W+O (стратегия развития через возможности) свидетельствует о возможности преодоления внутренних ограничений за счёт использования внешних возможностей. В частности, локализация производства строительных материалов (O3) и привлечение международного опыта и финансовых ресурсов (O4) создают предпосылки для снижения технологического отставания (W1) и кадрового дефицита (W2).

Комбинация факторов S+T (защитная стратегия) отражает возможности использования сильных сторон строительного комплекса для нейтрализации внешних угроз. Приоритетная

государственная поддержка крупных инфраструктурных проектов (S1) в сочетании с накопленным опытом реализации строительных работ в сложных горных условиях (S4) создают основу для разработки и внедрения эффективных строительных стандартов и нормативов, направленных на снижение рисков природных и техногенных угроз, включая высокую сейсмическую опасность (T3) [7-8].

Комбинация факторов S+O (стратегия максимизации потенциала) свидетельствует о возможности активного развития строительного комплекса за счёт использования благоприятных внешних условий. Сочетание государственных инвестиций (S1) и стабильного притока денежных переводов трудовых мигрантов (O2) может выступать драйвером реализации масштабных программ доступного жилищного строительства, стимулируя платёжеспособный спрос (S2) и развитие локального производства строительных материалов (O3).

Таблица 1 – SWOT-анализ строительного комплекса Республики Таджикистан
Table 1 – SWOT Analysis of the Construction Sector of the Republic of Tajikistan

Внутренняя среда	Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
	-S1: приоритетное внимание государства к крупным инфраструктурным проектам (ГЭС, дороги, мосты). -S2: высокий уровень неудовлетворённого спроса на жильё и социально-инженерные объекты, создающий потенциал для развития отрасли. -S3: наличие собственной сырьевой базы (нерудные материалы). -S4: опыт реализации строительных проектов в сложных горных условиях.	-W1: сильный износ техники и устаревшие технологии; -W2: недостаток квалифицированных инженеров и рабочих; -W3: финансовая нестабильность компаний, ограниченный доступ к кредитным ресурсам; -W4: низкое качество менеджмента, коррупционные риски, недостаточная цифровизация процессов; -W5: системные проблемы с контролем качества строительства.
Внешняя среда	Возможности (O)	Угрозы (T)
	-O1: развитие международных транспортных коридоров через страну; -O2: стабильный приток денежных переводов мигрантов; -O3: потенциал локализации производства стройматериалов (импортозамещение); -O4: доступ к международному опыту и финансированию (международные финансовые институты).	-T1: зависимость от импорта и колебаний валютных курсов; -T2: геополитическая нестабильность; -T3: высокая сейсмическая и природная опасность (оползни, сели); -T4: макроэкономическая уязвимость к внешним кризисам; -T5: усиление конкуренции со стороны иностранных подрядчиков;

Источник: составлено автором на основе данных [7-8; 14].

Сопоставление сильных и слабых сторон (S+W) позволяет выявить внутренние ограничения развития строительного комплекса. Государственная поддержка крупных инфраструктурных проектов (S1) при существующих коррупционных рисках и недостатках управления (W4) способна снижать результативность использования выделяемых ресурсов, повышать издержки и уменьшать экономический эффект реализуемых проектов. При этом значительный неудовлетворённый спрос на жильё и инфраструктуру (S2) не в полной мере реализуется вследствие финансовой нестабильности строительных компаний и ограниченной доступности кредитных ресурсов (W3). Следовательно, дальнейшее развитие отрасли предполагает не только использование имеющихся преимуществ, но и устранение организационных и финансовых ограничений.

В целом, результаты SWOT-анализа подтверждают, что устойчивость строительного комплекса Республики Таджикистан в значительной степени определяется эффективностью решения внутренних системных проблем, которые усиливают воздействие внешних угроз. Стратегия обеспечения экономической безопасности должна носить комплексный характер и сочетать меры по преодолению слабостей отрасли с активным использованием внешних

возможностей и сильных сторон, что позволит повысить инвестиционную привлекательность строительного сектора и обеспечить его долгосрочную устойчивость [7-8].

Последствия угроз для устойчивости строительства (*Consequences of Threats to Construction Sustainability*)

Воздействие угроз экономической безопасности на строительный комплекс Республики Таджикистан проявляется в снижении эффективности функционирования отрасли и ухудшении её финансово-экономических показателей. Совокупное влияние внутренних факторов, включая износ основных фондов, технологическое отставание, финансовую нестабильность и дефицит квалифицированных кадров, приводит к росту себестоимости строительной продукции, снижению производительности труда и ухудшению качества возводимых объектов.

Внешние угрозы, обусловленные макроэкономическими колебаниями, нестабильностью инвестиционной среды, геополитическими ограничениями и природно-климатическими рисками, усиливают неопределённость реализации строительных проектов, способствуют сокращению объёмов инвестиций и росту незавершённого строительства. В результате снижается конкурентоспособность строительных организаций и их способность к реализации крупных инфраструктурных и социально значимых проектов.

Нестабильность строительного комплекса оказывает мультипликативное воздействие на смежные отрасли экономики, включая производство строительных материалов, транспорт и сферу услуг, что в целом негативно отражается на темпах социально-экономического развития страны. Таким образом, последствия угроз экономической безопасности выходят за рамки отдельных организаций и формируют риск долгосрочного ослабления потенциала строительной отрасли [3].

Выводы и рекомендации (*Conclusions and recommendations*)

Проведённое исследование показало, что экономическая безопасность строительного комплекса Республики Таджикистан является ключевым фактором обеспечения устойчивости отрасли и её адаптации к изменениям внутренней и внешней среды. Анализ динамики развития строительного сектора, факторов угроз и результатов SWOT-анализа подтвердил системный характер рисков, обусловленных структурными и институциональными особенностями функционирования отрасли.

Установлено, что совокупное воздействие внутренних диспропорций и внешних макроэкономических вызовов снижает инвестиционную привлекательность строительного комплекса и ограничивает возможности его устойчивого развития. В этой связи обеспечение экономической безопасности требует перехода от разрозненных мер к формированию комплексного механизма управления рисками на отраслевом уровне [5].

В целях повышения устойчивости строительного комплекса целесообразно реализовать комплекс мероприятий, направленных на развитие механизмов долгосрочного финансирования и государственно-частного партнёрства, стимулирование локализации производства строительных материалов, совершенствование институциональной среды и сокращение административных барьеров. Существенное значение имеет внедрение современных методов управления рисками, повышение уровня цифровизации строительных процессов, а также развитие кадрового потенциала и рост производительности труда [6, 10].

Реализация предложенных направлений позволит снизить воздействие внутренних и внешних угроз, повысить конкурентоспособность строительных организаций и обеспечить долгосрочную устойчивость строительного комплекса, что будет способствовать укреплению экономической безопасности Республики Таджикистан в целом.

Рецензент: Байматова М.М. - к.э.н., и.о. доцента Таджикского технического университета, им. академика М.С. Осими.

Литература

1. Закон Республики Таджикистан «О безопасности», 2011 г., № 6, ст. 434. (2014 г., №11, ст. 646; Закон РТ от 15.03.2016 г., № 1283).
2. Абалкин Л.И. Экономическая безопасность России: угрозы и их отражение // Вопросы экономики. — 1994. — № 12. — С. 4–13.
3. Александрова Н.Р. Экономическая безопасность муниципальных образований региона: / Н.Р. Александрова, Ю.В. Нуретдинова. – Ульяновск: УлГТУ, 2021. – 132 с.

4. Глазьев, С. Ю. Создание системы обеспечения экономической безопасности и управления развитием России / С. Ю. Глазьев // Менеджмент и бизнес-администрирование. – 2015. – № 4. – С. 12-26.
5. Каримова, З. М. Риски в сфере строительства и их влияние на развитие предприятия / З. М. Каримова // Наука - основа инновационного развития: Материалы IX международной научно-практической конференции, Душанбе, 18–19 апреля 2024 года. – Душанбе: "Промэкспо", 2024. – С. 71-75. – EDN DHAOOB.
6. Каримова, З. М. Цифровая трансформация и её влияние на экономическую безопасность строительного сектора / З. М. Каримова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 70-76.
7. Ковтуненко М.Г., Долгов Д.Б., Карова А.У., Савенко К.А. SWOT-анализ в оценке конкурентоспособности строительной организации // Научные известия. 2022. №28.
8. Минаев, А. В. Экономическая безопасность на предприятии (на примере строительной организации): внутренние риски и угрозы / А. В. Минаев, А. Ш. Бахрамова // Молодой ученый. – 2022. – № 48(443). – С. 134-136.
9. Переверзева, Е. С. Обеспечение экономической безопасности в Российской Федерации в строительном комплексе: проблемы и направления их преодоления / Е. С. Переверзева // Научный портал МВД России. – 2017. – № 2(38). – С. 116-121.
10. Рачабова, З. С. Рақамикунонии саноат дар Тоҷикистон: мушкилот ва дурнамо дар давраи тағйиротҳои глобалӣ / З. С. Рачабова, А. Б. Шарипова, З. М. Каримова // Паёми Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон. – 2024. – No. 3(53). – EDN BAUJRV.
11. Сенчагов В.К. Экономическая безопасность России: Общий курс : учебник. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 815 с.
12. Статистический ежегодник 2025 // Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан. Душанбе, 2025. 442 с.
13. Статистический сборник: Строительство в Республике Таджикистан 2025 // Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан. Душанбе, 2025. 66 с.
14. <https://swothub.com/construction-company-swot-analysis/> (дата обращения: 12.03.2026)

References

1. Law of the Republic of Tajikistan “On Security,” 2011, No. 6, Art. 434 (2014, No. 11, Art. 646; Law of the Republic of Tajikistan dated March 15, 2016, No. 1283).
2. Abalkin, L. I. Economic Security of Russia: Threats and Their Response // Voprosy Ekonomiki. – 1994. – No. 12. – P. 4–13.
3. Aleksandrova, N. R., Nuretdinova, Yu. V. Economic Security of Municipalities in the Region. – Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University, 2021. – 132 p.
4. Glazyev, S. Yu. Creating a System for Ensuring Economic Security and Managing Russia’s Development // Management and Business Administration. – 2015. – No. 4. – P. 12–26.
5. Karimova, Z. M. Risks in the Construction Sector and Their Impact on Enterprise Development // Science as the Basis for Innovative Development: Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference, Dushanbe, April 18–19, 2024. – Dushanbe: Promekspo, 2024. – P. 71–75. – EDN DHAOOB.
6. Karimova, Z. M. Digital Transformation and Its Impact on the Economic Security of the Construction Sector // Polytechnic Bulletin. Series: Intelligence. Innovations. Investments. – 2025. – No. 4(72). – P. 70–76.
7. Kovtunencko, M. G., Dolgov, D. B., Karova, A. U., Savenko, K. A. SWOT Analysis in Assessing the Competitiveness of a Construction Organization // Scientific News. – 2022. – No. 28.
8. Minaev, A. V., Bakhramova, A. Sh. Economic Security at an Enterprise (Using a Construction Organization as an Example): Internal Risks and Threats // Young Scientist. – 2022. – No. 48(443). – P. 134–136.
9. Pereverzeva, E. S. Ensuring Economic Security in the Russian Federation in the Construction Sector: Problems and Directions for Their Resolution // Scientific Portal of the Ministry of Internal Affairs of Russia. – 2017. – No. 2(38). – P. 116–121.
10. Rajabova, Z. S., Sharipova, A. B., Karimova, Z. M. Industrial Digitalization in Tajikistan: Problems and Prospects in the Period of Global Changes // Bulletin of the Tajik State University of Commerce. – 2024. – No. 3(53). – EDN BAUJRV.
11. Senchagov, V. K. Economic Security of Russia: A General Course: Textbook. – Moscow: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2012. – 815 p.

12. Statistical Yearbook 2025 // Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. – Dushanbe, 2025. – 442 p.
13. Statistical Bulletin: Construction in the Republic of Tajikistan 2025 // Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. – Dushanbe, 2025. – 66 p.
14. <https://swothub.com/construction-company-swot-analysis/> (дата обращения: 12.03.2026)

Сведения об авторе:

Каримова Зарина Музафаровна, старший преподаватель кафедры экономики и менеджмента Душанбинского филиала Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» в г. Душанбе, Республика Таджикистан.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1040-3295>. E-mail: z_karimova@mail.ru

Маълумот дар бораи муаллиф:

Каримова Зарина Музафаровна, муаллими калони кафедраи иқтисодиёт ва менеҷменти филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотии технологӣ “МИСИС” дар ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон. ORCID:

<https://orcid.org/0000-0003-1040-3295>. E-mail: z_karimova@mail.ru

Information about the Author:

Karimova Zarina Muzafarovna, Senior Lecturer at the Department of Economics and Management, Dushanbe Branch of the National University of Science and Technology “MISIS”, Dushanbe, Republic of Tajikistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1040-3295>. E-mail: z_karimova@mail.ru

DIGITALIZATION OF THE TRANSPORT SECTOR AS AN IMPORTANT FACTOR IN IMPROVING FREIGHT TRANSPORT MANAGEMENT AND DEVELOPING LOGISTICS IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

F.N. Nizomzoda, R. Shokirova

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

The article examines the digitalization of the transport sector as one of the key factors for improving freight transport management and developing the logistics system in the Republic of Tajikistan. The relevance of the study is determined by the growing volume of freight transportation, increasing demand for modern logistics services, and the need to establish an efficient system for managing transport processes. In the context of the digital economy, the implementation of information and communication technologies, automated management systems, GPS monitoring, Transportation Management Systems (TMS), Warehouse Management Systems (WMS), electronic document management, and digital logistics platforms is becoming increasingly important. The study considers the impact of digitalization on improving the transparency, speed, and efficiency of freight transportation processes, reducing logistics costs, strengthening control over vehicle movements, and ensuring more rational use of available resources. Particular attention is paid to the potential of digital technologies to improve information exchange among participants in transport and logistics processes, integrate individual elements of the supply chain, and create a unified information and logistics environment. Based on the analysis, the main directions for the digital transformation of the transport sector in the Republic of Tajikistan are identified. The study substantiates that the systematic implementation of digital solutions can contribute to improving the quality of transport services, reducing cargo processing time, optimizing transportation routes, increasing the competitiveness of the national transport system, and making more effective use of the country's transit potential. The results may be useful for developing strategic measures aimed at accelerating digital transformation and improving logistics management.

Keywords: digitalization, transport sector, freight transportation, transport management, logistics, digital technologies, TMS, WMS, supply chain, logistics services, transport efficiency, transit potential.

РАҚАМИКУНОНИИ СОҲАИ НАҚЛИЁТ ОМИЛИ МУҲИМИ ТАКМИЛИ ИДОРАКУНИИ ҲАМЛУ НАҚЛ ВА РУШДИ ЛОГИСТИКА ДАР ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Ф.Н. Низомзода, Р. Шокирова

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

Дар мақола масъалаҳои рақамикунонии соҳаи нақлиёт ҳамчун яке аз омилҳои муҳими такмили идоракунии ҳамлу нақл бор ва рушди низоми логистикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон мавриди таҳлил қарор дода мешаванд. Муҳимияти тадқиқот ба афзоиши ҳаҷми ҳамлу нақл бор, баланд гардидани талабот ба хизматрасониҳои логистикӣ ва зарурати ташаққули низоми муносири идоракунии нақлиётӣ вобаста мебошад. Дар шароити рушди иқтисоди рақамӣ истифодаи технологияҳои иттилоотӣ коммуникатсионӣ, системаҳои автоматикунонидашудаи идоракунии мониторинги GPS, системаҳои идоракунии нақлиёт (TMS), системаҳои идоракунии анбор (WMS), ҳуҷҷатгузори электронӣ нақлиётӣ ва платформаҳои рақамии логистикӣ аҳамияти махсус пайдо менамояд. Муаллиф таъсири рақамикунониро ба баланд бардоштани шаффофият, суръат ва самаранокии равандҳои ҳамлу нақл, коҳиш додани хароҷоти логистикӣ, бехтар намудани назорати ҳаракати воситаҳои нақлиёт ва истифодаи самараноки захираҳои баррасӣ менамояд. Инчунин, имкониятҳои рақамикунонии барои ҳамгироии ишғирокчиёни занҷири таъминот ва ташаққули занҷири ягонаи иттилоотӣ логистикӣ таҳлил карда мешаванд. Дар асоси натиҷаҳои таҳлил самтҳои асосии рушди рақамикунонии соҳаи нақлиёт ва нақши он дар баланд бардоштани иқтидори транзитӣ ва рақобатпазирии низоми нақлиёти Ҷумҳурии Тоҷикистон пешниҳод мегарданд.

Калидвожаҳо: рақамикунонӣ, соҳаи нақлиёт, ҳамлу нақл бор, идоракунии нақлиёт, логистика, технологияҳои рақамӣ, TMS, WMS, занҷири таъминот, хизматрасониҳои логистикӣ, самаранокии нақлиёт, иқтидори транзитӣ.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ И РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН

Ф.Н. Низомзода, Р. Шокирова

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

В статье рассматриваются вопросы цифровизации транспортной отрасли как одного из важнейших факторов совершенствования управления грузовыми перевозками и развития логистической системы в Республике Таджикистан. Актуальность исследования обусловлена ростом объемов грузовых перевозок, увеличением спроса на современные логистические услуги и необходимостью формирования эффективной системы управления транспортными процессами. В условиях развития цифровой экономики особое значение приобретает внедрение информационно-коммуникационных технологий, автоматизированных систем управления, GPS-мониторинга, транспортных систем управления (TMS), систем управления складскими операциями (WMS), электронного документооборота и цифровых логистических платформ. Автор рассматривается влияние цифровизации на повышение прозрачности, оперативности и эффективности процессов грузовых перевозок, снижение логистических издержек, совершенствование контроля за движением транспортных средств и рациональное использование имеющихся ресурсов. Особое внимание уделяется возможностям цифровых технологий в обеспечении информационного взаимодействия между участниками транспортно-логистического процесса, интеграции отдельных элементов цепи поставок и формировании единого информационно-логистического пространства. На основе проведенного анализа определяются основные направления цифровой трансформации транспортной отрасли Республики Таджикистан. Обосновывается, что последовательное внедрение цифровых решений способствует повышению качества транспортных услуг, сокращению времени обработки грузов, оптимизации маршрутов, повышению конкурентоспособности транспортной системы и более эффективному использованию транзитного потенциала страны.

Ключевые слова: цифровизация, транспортная отрасль, грузовые перевозки, управление перевозками, логистика, цифровые технологии, TMS, WMS, цепь поставок, логистические услуги, эффективность транспорта, транзитный потенциал.

Introduction

The transportation industry is one of the country's key sectors, satisfying consumer demand. Today, it is impossible to imagine the development of any sector without the use of transportation services. Technological progress, economic growth, and consumer demand are among the factors influencing service quality. Digitalization is closely linked to the aforementioned factors and influences the formation and development of transportation services. Therefore, the impact of digitalization on the sector is paramount for improving service quality, ensuring the timely delivery of goods and products, and reducing transportation and logistics costs. Digitalization is a key factor in the sector's progress and has a positive impact on its development. «In the context of globalization and the integration of transport systems, the demand for an increasing number of industrial, construction, and other types of enterprises is growing, thereby contributing to the progressive development of the country's economic and social sectors» [1]. Therefore, in this article, we have included the issue of digitalization as an important discussion point for the formation and development of the sector, improving the quality of transportation services, and developing the country's logistics sector.

In the context of globalization of the transport system, economic development, and technological progress, digitalization is an important way to improve the efficiency of the transport and logistics sector. For the Republic of Tajikistan, a mountainous region where consumer demand is limited by road transport and access to other modes of transport is limited, digitalization of the sector is a key factor in the development of the transport and logistics industry. Requesting and accepting orders, linking production and consumption, and establishing connections between manufacturing enterprises and producers can only be achieved through digitalization, which has a significant impact on the development of the country's logistics sector. Based on statistical indicators and the volume of transport services, freight traffic in the country has been growing in recent years. Specifically, in 2024, it will reach 134.4 million tons by mode of transport, with the majority of freight traffic (over 95%) being carried by road. This indicates that the development of transport infrastructure in the country is at its peak, including the construction of highways, the development of sea routes, consumer demand, and other factors related to the development of freight flows. «Intermodal transportation has become an important instrument for stimulating trade between these continents, as it meets the economic interests of customers through the integration and optimal utilization of the resources and assets offered by each mode of transport» [2].

The digitalization of the country's transport sector is not only the introduction and implementation of information technologies in the country, but also a systemic change in the transport management mechanism. The essence of this issue is expressed in the transition from separate process management to the formation of a single information environment in which information about the vehicle, cargo, route, road conditions, transport documents, terminals and border processes is collected and exchanged in digital form.

The great importance of digitalization is manifested in the fact that more information is entering enterprises and their timely processing must be implemented. For example, there are route selection, cargo and vehicle selection, transport costs and other indicators, the timely implementation of which requires the digitization of sectors. Therefore, the use of digitalization is at the forefront for timely data management. The development of the logistics sector should be carried out in conjunction with digitalization activities. Transport infrastructure, such as terminals, customs points, warehouses, and consumers, which are considered important links in the implementation of logistics services, are closely linked to the field of digitalization.

In this article, the transport and logistics system of the Republic of Tajikistan is considered as the object of research, and the subject of research is the relations, methods and mechanisms of digitalization of transport management and logistics processes.

To achieve this goal, we set the following tasks:

- To study and analyze the current state of the dynamics of freight transportation volumes in the Republic of Tajikistan and identify factors influencing the improvement of freight transportation development.

- to evaluate and determine the role of road transport in freight transportation, as well as the need to implement information technology and digitalization;

- analyze the impact of economic indicators, including production volume, domestic trade, export and import, as well as the number of vehicles, on the formation and growth of freight transportation;
- To determine the impact of digitalization on improving efficiency and cargo transportation management.

Materials and Methods

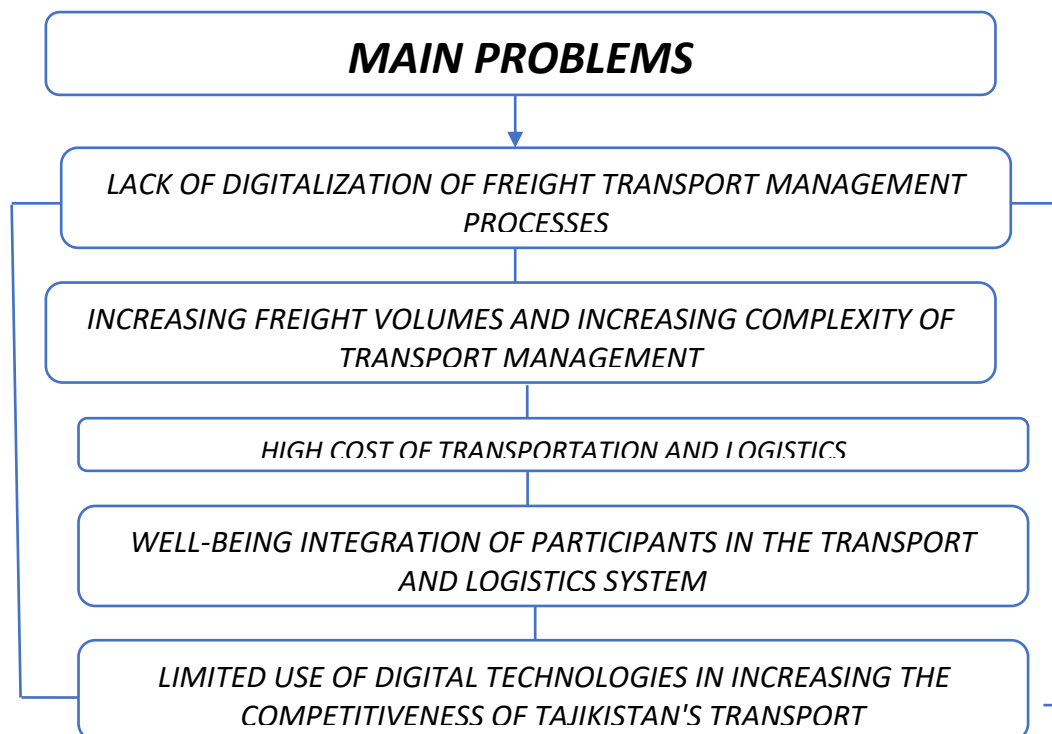
The study applies a combination of statistical, comparative, trend, correlation and system-analysis methods. Statistical data for 2018–2024 were used to examine changes in freight transportation by mode, the structure of international freight transportation, and the growth of the vehicle fleet. Comparative analysis was applied to identify changes in the shares of road, rail and other modes of transport. Trend analysis was used to assess the dynamics of freight volumes and international cargo flows. Correlation analysis was applied to determine the degree of statistical association between export and import freight indicators; the resulting coefficients are interpreted as measures of association rather than evidence of causality. System analysis was used to examine digitalization as an integrated process involving transport management, logistics, documentation, monitoring and border-crossing procedures. The analysis also considers the institutional development of transport-sector digitalization in Tajikistan and the reported implementation of 30 digitalization modules.

In particular, in 2022, by a decision of the Government of the Republic of Tajikistan, the State Unitary Enterprise “Center for Digitalization of the Transport Sector” was established. According to the Ministry of Transport, 30 digitalization modules have been developed in the sector, some of which have already been put into operation. In this study, these modules are considered as an institutional and technological basis for the digital transformation of transport management and logistics processes.

The above-mentioned areas can affect the development of the transport sector, improving the economy, improving the quality of services, and the development of the logistics sector.

Discussion

The analysis identified several constraints affecting the development of the transport and logistics sector, including limited use of digital technologies, insufficient integration of information systems, relatively high transport and logistics costs, increasing complexity of freight operations, and incomplete digitalization of freight management. These issues indicate areas in which digital tools can improve coordination, information exchange, monitoring and document processing [2-4].



Results

As noted above, one of the main factors and important indicators that affect the implementation of the digitalization of the sector is the construction of highways, the formation of freight and passenger routes, and connections to production centers. In order to overcome the communication deadlock and turn the country into a transit country, the Republic of Tajikistan has been actively implementing the construction of highways to date. According to statistical data, more than 14,307 km of highways have been built and put into operation to date, which indicates that there is a close relationship between producers and consumers in the country, and the volume of transport services is growing. This indicator is a good basis for implementing the digitalization of the sector and contributes to the development of the country's logistics sector [3].

As follows from statistical data, the volume of transportation by modes of transport, including road and rail, has been growing in recent years. The following figure shows the volume of freight transported by mode of transport (Figure 1).

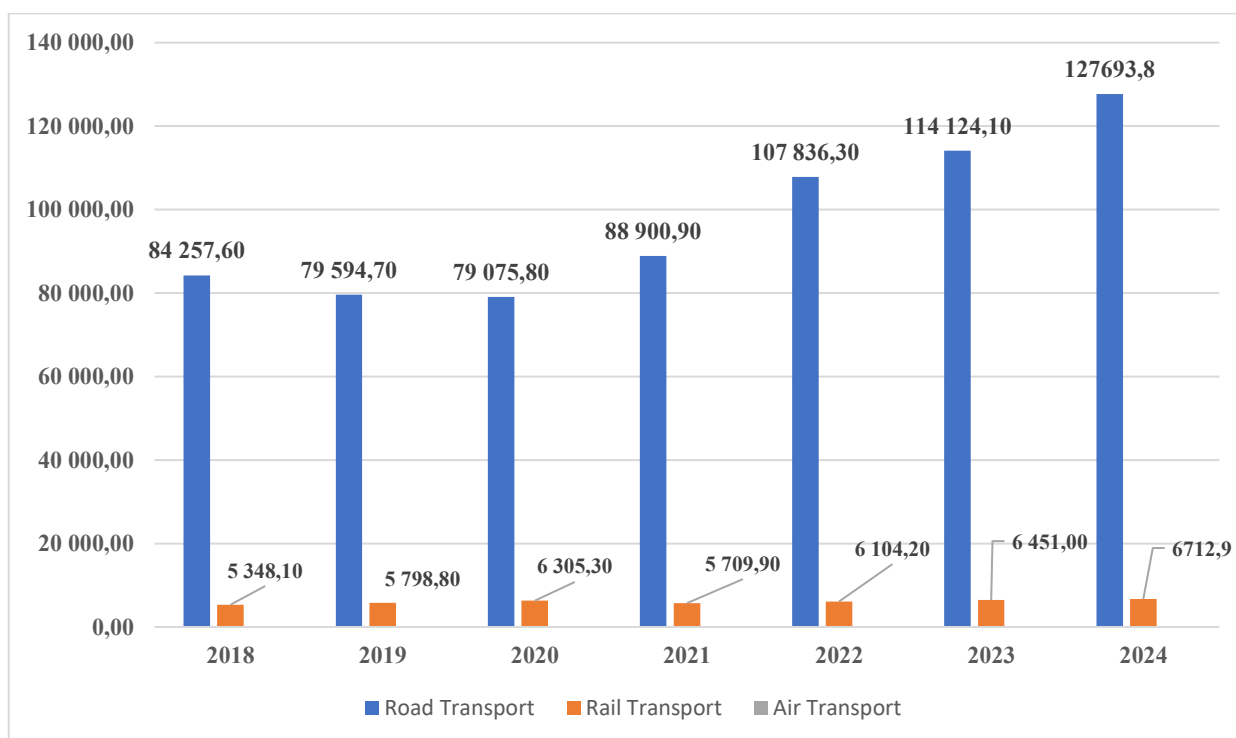


Figure 1 – Freight transportation by all modes of transport 2018-2024

As shown in Figure 1, road transport accounts for the largest share of freight transportation in the Republic of Tajikistan. During the analyzed period, its share remained above 90% of the total freight volume. This dominant position is associated with the country's mountainous terrain, the limited availability of alternative modes of transport in many regions, and the flexibility of road transport for short- and medium-distance deliveries. Figure 2 presents the share of road transport in the total freight volume.

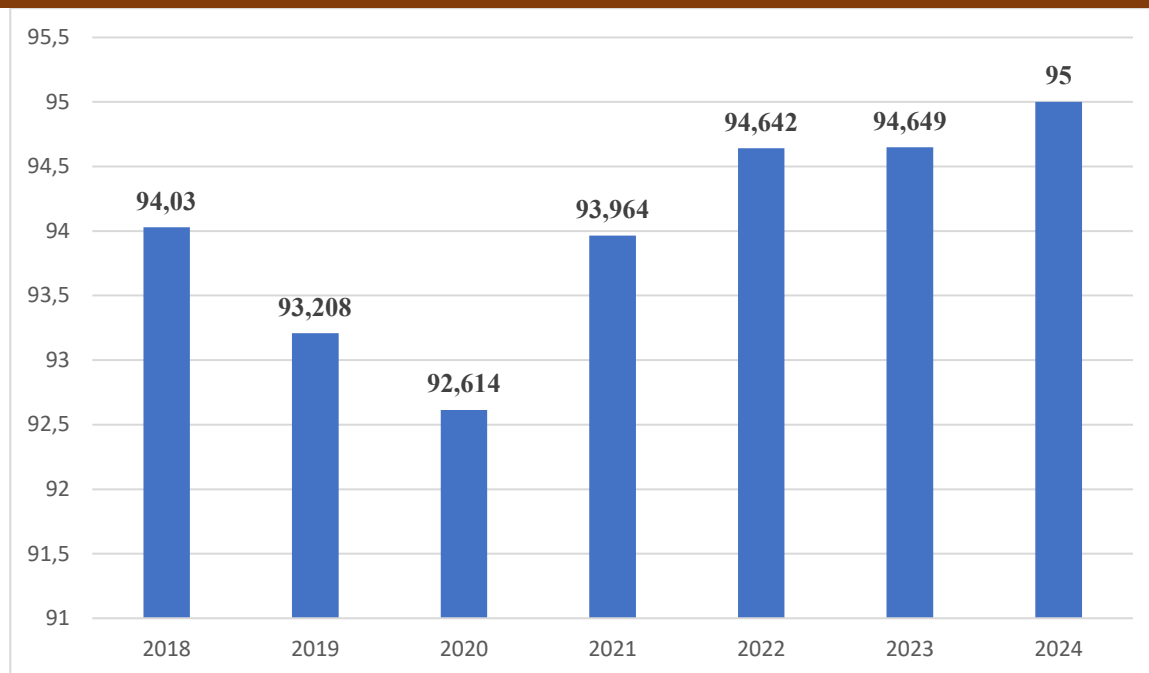


Figure 2 – The share of road transport in the total volume of freight transportation, %

Figure 2 confirms the dominant role of road transport, whose share exceeds 90% of total freight transportation. This structure increases the importance of digital tools for route planning, fleet monitoring, freight documentation and coordination of logistics operations. Road transport also plays a major role in the movement of imported and exported cargo through the country's border-crossing points[8].

Table 1 – Volume of export, import and transit cargo in the Republic of Tajikistan, 2019–2024

Year	Export cargo, thousand tons	Import cargo, thousand tons	Total volume of international freight transportation, thousand tons
2019	3 583,0	18 705,3	22 288,3
2020	3 844,0	21 810,3	25 654,3
2021	4 168,4	23 600,7	27 769,1
2022	4 653,6	26 980,4	31 634,0
2023	5 185,7	31 213,0	36 398,7
2024	5 704,8	34 119,9	39 824,7

The data in Table 1 show that the volume of imported cargo consistently exceeds the volume of exported cargo during 2019–2024. The total volume of international freight transportation increased over the period, although the dynamics varied from year to year. Correlation analysis of the annual export and import series indicates a very strong positive statistical association ($r \approx 0.99995$ for the analyzed export series and $r \approx 0.99752$ for the import-related comparison). These coefficients characterize the synchronization of the observed time series and should not be interpreted as proof that digitalization directly caused the changes in freight volumes. The results instead demonstrate the need for integrated digital management of international freight flows, particularly for information exchange, documentation and monitoring.

Along with freight transportation, passenger transport activity is also expanding in the country and abroad. Electronic requests, documentation, bills of lading and other document operations are important prerequisites for the transition to digital processes. Passenger transport is particularly significant in the regions of the Republic of Tajikistan, including Dushanbe as the country's administrative and economic center. The growing number of freight and passenger vehicles also increases the need for effective fleet

management, road-safety monitoring and information technologies. The following table presents statistics on the vehicle fleet in the country.

Table 2– Statistics on the vehicle fleet in the country

Year	Total number of cars	Passenger cars (conventional/electric)	Trucks (conventional/electric)	Buses (regular/electric)	Motorcycles (regular/electric)	Trailers	Semi-trailers
2019	504785	442533 / 0	40853 / 0	15731/113	3249 / 0	2086	333
2020	507361	444905 / 0	40869 / 0	15811/113	3343 / 0	2106	327
2021	527332	463939 / 0	42145 / 0	15515/159	3411 / 145	2002	320
2022	601136	524045 / 0	51781 / 0	16491/138	3726 / 587	4246	847
2023	666074	587074 / 2 417	52362 / 0	16554/210	4071 / 584	5167	846
2024	701231	606296/29 116	53967 / 0	16520/160	19 441 / 5 081	5164	843

As shown in the table, the number of passenger vehicles increased during the analyzed period, reaching 701,231 vehicles in 2024. This figure is expressed in units, not thousands of units. The growth of the vehicle fleet increases the requirements for timely fleet management, road safety and service quality. A modern transport-management system incorporating digital technologies can support these functions through data exchange, monitoring and operational control.

The institutional and technological development of transport-sector digitalization creates opportunities for further improvement of the logistics system. Key areas include digital logistics platforms connecting warehouses, terminals and production sites; intelligent transport monitoring; digitalization of international transport corridors; improved transparency of customs procedures; and electronic transport and travel documents. These directions can strengthen coordination and information exchange across the logistics chain, while their actual effects should be evaluated using operational and economic performance indicators.

Conclusion

The analysis of transport, technical and operational indicators demonstrates the continuing importance of the transport services sector for the economy of the Republic of Tajikistan. Road transport remains the dominant mode of freight transportation, accounting for more than 90% of the total volume during the analyzed period. The study shows that this structure increases the importance of digital solutions for freight planning, fleet monitoring, electronic documentation, logistics coordination and border-crossing procedures. The analysis of international freight data also indicates a strong statistical association between the dynamics of the analyzed cargo flows; however, correlation alone does not establish causality. The development and implementation of the reported 30 digitalization modules, together with integrated transport-management and logistics information systems, provide an institutional and technological basis for improving the efficiency, transparency and coordination of freight transportation. Further research should assess the economic and operational effects of individual digitalization measures using measurable performance indicators.

Reviewer: Pirov J. T. – Candidate of Technical Sciences, First Deputy Director of the State Institution “Automobile Transport and Logistics Services”.

References

1. Nizomzoda, F. N. The Role and Importance of Transport Logistics in the Development of the National Economy. *Bulletin of the Tajik Technical University. Series: Engineering Research*, 1(65), 160–163.
2. Nadjmudinov, F. N., Gafurov, F. J., & Samadov, T. U. (2018). Forecasting Freight Flows Along the International Transport Corridors of the Republic of Tajikistan. *Bulletin of the Technological University of Tajikistan. Series: Economic Research*, 2(33), 66–72. ISBN 978-99947-0-022.
3. Davlatshoev, R. A., Butaev, M. K., Majidov, B. Zh., & Djobirov, F. (2025). Analysis of Environmental Safety and the Impact of Road Transport on the Environment of the Republic of Tajikistan. *Polytechnic Bulletin. Series: Engineering and Society*, No. 4 (12), 21–25.

4. Karolina, A. S. Development of a Regional Transport and Logistics System for Freight Delivery (Based on the Example of Samara Region). – [Publication details not provided].
5. Azimov, P. Kh. Development of Transport and Logistics Infrastructure in the Republic of Tajikistan / P. Kh. Azimov // Economics and Management. – 2017. – Vol. 11, No. 2. – P. 14–20.
6. Sharipov, S. Kh. Analysis of the Current State and Prospects for the Development of Road Transport Infrastructure in the Republic of Tajikistan / S. Kh. Sharipov // Public Administration. – 2022. – No. 4/2(59). – P. 143–151.
7. Government of the Republic of Tajikistan. State Target Program for the Development of the Transport Complex of the Republic of Tajikistan until 2025: Approved by Resolution No. 165 of the Government of the Republic of Tajikistan dated April 1, 2011 (as amended by Resolution No. 518 dated October 25, 2022). – Dushanbe, 2011.
8. Statistical Yearbook of the Republic of Tajikistan. – Dushanbe: Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan, 2025.
9. Asadov, Sh. Tajikistan's Transit Corridors and Their Potential for Developing Regional Trade. *Institute of Public Policy and Administration Working Paper, No. 6*. University of Central Asia, 40 p.
10. Azimov, P. Kh. Development of Transport and Logistics Infrastructure in the Republic of Tajikistan. Economics and Management, 11(2), 14–20.

Information about the authors:

Nizomzoda Fakhridin Nizom, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transportation Organization and Transport Management, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2336-9228>. E-mail: fakhridin670@gmail.com

Shokirova Ranogul Khairiddinovna, Assistant, Assistant of the Department of Languages, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. E-mail: rsokirova44@gmail.com

Сведения об авторах:

Низомзода Фахриддин Низом, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры организации перевозок и управления на транспорте Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2336-9228>. E-mail: fakhridin670@gmail.com

Шокирова Раъногул Хайридиновна, ассистент, ассистент кафедры языков Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. E-mail: rsokirova44@gmail.com

Маълумот дар бораи муаллифон:

Низомзода Фахриддин Низом, номзади илмҳои техникӣ, дотсент, дотсенти кафедраи таъшиқи ҳамаи нақл ва идоракунии дар нақлиёти Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2336-9228>. E-mail: fakhridin670@gmail.com

Шокирова Раъногул Хайридиновна, ассистент, ассистенти кафедраи забонҳои Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими. E-mail: rsokirova44@gmail.com

СТРУКТУРНЫЕ ПРОПОРЦИИ И ДИНАМИКА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН: СТАТИСТИЧЕСКИЙ И ИНДЕКСНЫЙ АНАЛИЗ

Н.Р. Мукимова, Дж. Мирзохomidзода

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

Институт экономики и торговли Таджикского государственного университета коммерции в г. Худжанд

В статье исследованы динамика и структурные пропорции промышленного производства Республики Таджикистан на основе данных Агентства по статистике при Президенте РТ. За рассматриваемый период совокупный объём промышленной продукции увеличился в 2,25 раза, индекс физического объёма производства ни разу не опускался ниже 108 % к предыдущему году. Тем не менее рост носит преимущественно сырьевой характер: удельный вес добывающего сектора достиг 24,8 %, тогда как доля машиностроения и химического производства суммарно не превысила 2,7 % промышленного выпуска. Интенсивность структурных сдвигов измерена с помощью индекса Рябцева по четырём направлениям - отраслевой структуре выпуска, региональному распределению производства, структуре занятости и товарной структуре экспорта. Значения индекса составили от 0,062 до 0,263. Максимальное значение зафиксировано по экспортной структуре, однако оно отражает перераспределение долей внутри сырьевого сегмента, а не технологическое усложнение экспорта. По результатам анализа сформулированы рекомендации в области промышленной политики. Рекомендованы переориентация на переработку, адресная поддержка машиностроения и химической промышленности, импортозамещение, региональная диверсификация мощностей и взаимодействие кадровой подготовки с отраслевыми приоритетами.

Ключевые слова: промышленное производство, структурный анализ, индекс Рябцева, структурные сдвиги, отраслевые пропорции, региональная концентрация, Республика Таджикистан.

ТАНОСУБИ СОХТОРӢ ВА ПӖӢИИ ИСТЕҲСОЛИ САНОАТИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН: ТАҲЛИЛИ ОМОРИВУ ИНДЕКСӢ

Н.Р. Мукимова, Ҷ. Мирзохomidзода

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

Донишқадаи иқтисод ва савдои Донишгоҳи давлатии тижорати Тоҷикистон дар шаҳри Хуҷанд

Дар мақола динамика ва таносуби сохтори истеҳсоли саноатии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар асоси маълумоти Агентии омори назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон баррасӣ шудааст. Дар давраи мавриди баррасӣ ҳаҷми умумии маҳсулоти саноатӣ 2,25 маротиба афзоиш ёфт, индекси ҳаҷми воқеии истеҳсолот ҳеҷ гоҳ аз 108% нисбат ба соли қаблӣ поён нафаромад. Бо вучуди ин, рушд асосан хусусияти хомашёвӣ дорад: ҳиссаи бахши истихроҷ ба 24,8% расид, дар ҳоле ки ҳиссаи муштараки мошинсозӣ ва саноати кимиёвӣ аз 2,7% маҳсулоти саноатӣ таҷовуз накард. Шиддатнокии тағйироти сохторӣ бо ёрии индекси Рябцев аз рӯи чор самт - сохтори соҳавии баровардот, тақсимои минтақавии истеҳсолот, сохтори шуғл ва сохтори молини содирот - андозагирӣ шудааст. Қиматҳои индекс аз 0,062 то 0,263 тақкил доданд. Қимати максималӣ аз рӯи сохтори содирот сабт шудааст, вале он на мураккабшавии технологияи содиротро, балки тақсими тақдироти ҳиссаҳо дар дохили бахши хомашёвиро инъикос мекунад. Дар асоси натиҷаҳои таҳлил тавсияҳо дар соҳаи сиёсати саноатӣ таҳия шудаанд. Тавсия карда мешавад: равона кардани сиёсат ба коркард, дастгирии мақсадноки мошинсозӣ ва саноати кимиёвӣ, ивазкунии воридот, диверсификатсияи минтақавии иқтидорҳо ва мутобик кардани тайёр кардани кадрҳо бо афзалиятҳои соҳавӣ.

Калидвожаҳо: истеҳсоли саноатӣ, таҳлили сохторӣ, индекси Рябцев, табаддулоти сохторӣ, таносуби соҳавӣ, тамаркузи минтақавӣ, Ҷумҳурии Тоҷикистон.

STRUCTURAL PROPORTIONS AND DYNAMICS OF INDUSTRIAL PRODUCTION IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN: STATISTICAL AND INDEX ANALYSIS

N.R. Mukimova, J. Mirzohomidzoda

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

Institute of Economics and Trade of the Tajik State University of Commerce in Khujand

The article examines the dynamics and structural proportions of industrial production in the Republic of Tajikistan based on data from the Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. Over the period under review, the total volume of industrial output increased 2.25-fold, and the physical volume index of production never fell below 108% year-on-year. Nevertheless, this growth is predominantly resource-based in nature: the share of the extractive sector reached 24.8%, while the combined share of mechanical engineering and chemical production did not exceed 2.7% of industrial output. The intensity of structural shifts was measured using the Ryabtsev index across four dimensions - the sectoral structure of output, the regional distribution of production, the structure of employment, and the commodity structure of exports. The index values ranged from 0.062 to 0.263. The maximum value was recorded for export structure, although it reflects a redistribution of shares within the resource-based segment rather than technological upgrading of exports. Based on the results of the analysis, recommendations in the field of industrial policy are formulated. The recommendations include reorienting policy toward processing, targeted support for mechanical engineering and the chemical industry, import substitution, regional diversification of production capacities, and aligning workforce training with sectoral priorities.

Keywords: industrial production, structural analysis, Ryabtsev index, structural shifts, sectoral proportions, regional concentration, Republic of Tajikistan.

Введение (Introduction)

Республика Таджикистан на протяжении последних лет устойчиво входит в число наиболее динамично растущих экономик постсоветского пространства. Валовой внутренний продукт страны в текущих ценах увеличился с 71059 млн сомони в 2018 году до 153402 млн сомони в 2024 году, то есть более чем в два раза за шестилетний период. Реальный темп роста ВВП при этом ни разу не опускался ниже 104 % к предыдущему году: в 2019 году он составил 107,4 %, в 2020-м - 104,4 %, в 2021-м - 109,4 %, в 2022-м - 108,0 %, в 2023-м - 108,3 %, в 2024-м - 108,4 %. ВВП на душу населения достиг 14760 сомони в 2024 году против 7870,2 сомони в 2018 году [9].

Промышленность в этой картине занимает особое место. Согласно статистическим данным добавленная стоимость горнодобывающей промышленности выросла с 2 528,5 млн сомони в 2018 году до 7 067,1 млн сомони в 2024 году, обрабатывающей промышленности - с 9 400,4 млн до 12 894,9 млн сомони, производства и распределения электроэнергии и газа - с 3 025,7 млн до 5785,1 млн сомони [9]. Суммарная добавленная стоимость промышленного комплекса, таким образом, составила в 2024 году порядка 25747,1 млн сомони против 14954,6 млн сомони в 2018 году. Доля промышленности в ВВП в текущих ценах составляла 21,2 % в 2018 году, достигала 23,8 % в 2021 году и, по предварительным данным, составила 16,9% в 2024 году [5]. В абсолютном выражении совокупный объём промышленной продукции вырос с 23 894 млн сомони в 2018 году до 53 873 млн сомони в 2024 году - прирост в 2,25 раза. Число промышленных предприятий за тот же период увеличилось с 2161 до 3779 единиц, а среднегодовая численность промышленно-производственного персонала достигла 92,8 тыс. человек [5, с.21].

Между тем за фасадом впечатляющей динамики скрываются структурные проблемы, которые не позволяют говорить о качественном промышленном развитии. Удельный вес добывающей промышленности в совокупном промышленном выпуске достиг в 2024 году рекордной за семилетний период отметки - 24,8 %, тогда как доля обрабатывающего сектора сократилась до 56,2 %. Машиностроение - традиционный индикатор технологической зрелости промышленности - занимало лишь 1,57 % в структуре производства [5, с.15-16]. Экспорт промышленных товаров по-прежнему концентрируется на сырье и продукции первичных переделов: минеральные продукты, недрагоценные металлы и текстиль суммарно формируют около 73 % товарного вывоза, тогда как машины и оборудование составляют лишь 0,3 % экспорта [5, с.40-41].

Данная ситуация связана с длительным инерционным воспроизводством сложившейся структуры без целенаправленных усилий по её диверсификации. Сырьевая специализация и концентрация производства в нескольких крупных секторах делают промышленность республики уязвимой перед колебаниями мировых цен на металлы и минеральное сырьё. Именно это уязвимое место наглядно проявилось в 2020 году, когда индекс добывающей промышленности упал до 91,3 % к предыдущему году на фоне неблагоприятной внешней конъюнктуры.

Задача перехода к диверсифицированной, технологически более сложной структуре промышленности прямо закреплена в Национальной стратегии развития Республики Таджикистан на период до 2030 года. Документ предусматривает ускоренную индустриализацию, развитие перерабатывающих производств и снижение зависимости от внешнеторговой конъюнктуры. Однако между декларируемыми приоритетами и реальной структурой производства по-прежнему сохраняется значительный разрыв. Преодолеть его невозможно без чёткого понимания того, каковы нынешние отраслевые пропорции, как они менялись в последние годы и какие сдвиги являются нежелательными.

Именно здесь возникает потребность в детальном статистическом анализе, выходящем за пределы простой констатации роста объёмов выпуска. Такой анализ должен выявить реальные структурные сдвиги, определить степень их интенсивности, зафиксировать накопившиеся диспропорции и дать количественную оценку отклонению фактической структуры от той, которая отвечала бы задачам устойчивого индустриального развития. Без подобной аналитической базы любые рекомендации по оптимизации отраслевой структуры промышленности останутся декларативными.

Методы исследования (Materials and methods)

Информационную основу работы составляют официальные данные статистических изданий Агентства по статистике при Президенте Республики Таджикистан. Анализ охватывает период с 2018 по 2024 год. Показатели объёма производства использованы в текущих ценах соответствующих лет; индексы физического объёма приведены в сопоставимых ценах 2024 года.

Основу аналитического инструментария составил метод структурно-динамического анализа. Отраслевые доли рассчитывались как отношение объёма продукции каждого сектора к совокупному промышленному выпуску в соответствующем году. Сопоставление долей в динамике позволило установить направление и масштаб структурных сдвигов между 2018 и 2024 годами как в отраслевом, так и в региональном и кадровом разрезах.

Для оценки темпов роста производства применялись цепные и базисные индексы физического объёма. Пространственный анализ выполнен путём расчёта удельных весов регионов в совокупном промышленном выпуске и сопоставления региональных темпов роста со среднереспубликанским показателем. Анализ внешнеторговой структуры проведён на основе данных о товарном экспорте и импорте в разбивке по товарным группам, что позволило выявить соответствие между структурой промышленного производства и специализацией республики в международном разделении труда.

Для количественного измерения интенсивности структурных сдвигов использован индекс Рябцева [7, 8]. Расчёт выполнен по четырём направлениям: отраслевой структуре промышленного выпуска, региональной структуре производства, структуре занятости промышленно-производственного персонала и товарной структуре экспорта. Такой многоаспектный подход позволяет получить дифференцированную картину структурной динамики промышленности и сопоставить интенсивность изменений в разных плоскостях анализа - от производственных пропорций до внешнеторговой специализации республики.

Результаты (Results)

Общая динамика промышленного производства. За 2018-2024 годы совокупный объём промышленной продукции Таджикистана в текущих ценах вырос с 23 894 до 53 873 млн сомони - в 2,25 раза. Индекс физического объёма производства ни разу не опускался ниже 108 % к предыдущему году, а в 2021-м и 2024-м превышал 120 %. Число промышленных предприятий увеличилось с 2 161 до 3 779 единиц, производительность труда достигла 181,0 % к уровню 2018 года. Вместе с тем численность промышленно-производственного персонала за тот же период выросла лишь на 8,4 % - рост производительности опережает рост занятости в 21 раз, что указывает на интенсивный тип промышленного расширения с ограниченной способностью создавать новые рабочие места. Доля отрасли в ВВП поднималась до 23,8 % в 2021 году, однако по предварительным данным 2024 года сократилась до 16,9 % - следствие опережающего роста ВВП в текущих ценах. Детальная картина динамики представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели промышленного производства Республики Таджикистан

Table 1 – Key Indicators of Industrial Production in the Republic of Tajikistan

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Объём промышленной продукции, млн сомони (тек. цены)	23894	27613	30890	38829	43025	46857	53873
Индекс промышленного производства, % к пред. году	110,6	113,2	108,8	120,8	109,7	109,0	120,0
Число предприятий, ед.	2 161	2 164	2 283	2 397	2 802	3 453	3 779
ППП, тыс. чел.	85,6	84,2	84,3	85,3	86,3	87,5	92,8
Производительность труда, % к 2018 г.	100,0	108,0	114,2	142,0	155,6	166,9	181,0
Доля в ВВП, %	21,2	21,2	23,1	23,8	23,5	22,4	16,9*

Примечание: *предварительные данные.

Источник: составлено на основе [5]

За внешней картиной устойчивого роста скрывается существенная внутренняя неоднородность, которая проявляется при анализе секторальных индексов. Рекордный прирост 2021 года (120,8 %) был обусловлен прежде всего добывающим сектором, индекс которого достиг

155,2 % к предыдущему году [5, с.12]. Обрабатывающая промышленность в том же году показала лишь 115,3 %. В 2024 году картина повторилась: добывающая промышленность - 143,1 %, обрабатывающая - 106,7 %. Таким образом, пиковые значения промышленного роста формировались за счёт сырьевого сектора, а не за счёт производств с высокой добавленной стоимостью.

Показателен в этом отношении 2020 год. Несмотря на то что Таджикистан не вводил жёстких карантинных ограничений и предприятия продолжали работу, индекс добывающего сектора снизился до 97,4 % - единственный случай абсолютного падения за весь анализируемый период. Причина - резкое падение мировых цен на металлы в первой половине года. Этот эпизод наглядно демонстрирует, насколько сильно промышленная динамика республики зависит от внешней ценовой конъюнктуры.

Расхождение между ростом числа предприятий и динамикой занятости также требует отдельного комментария. Количество промышленных предприятий выросло с 2 161 до 3 779 единиц - на 75 %. Численность промышленно-производственного персонала при этом увеличилась всего на 8,4 % - с 85,6 до 92,8 тыс. человек. Вновь создаваемые предприятия в подавляющем большинстве являются малыми. Производительность труда к 2024 году составила 181,0 % к уровню 2018 года, то есть росла в 21 раз быстрее занятости - признак интенсивного, но ограниченного в части создания рабочих мест характера промышленного роста.

Доля промышленности в ВВП поднималась с 21,2 % в 2018 году до 23,8 % в 2021-м, после чего начала снижаться. По предварительным данным 2024 года она составила 16,9 %. Само по себе это не свидетельствует об ухудшении позиций отрасли - ВВП в текущих ценах рос быстрее промышленного выпуска, что и даёт такой эффект. Однако устойчивое снижение удельного веса промышленности на фоне декларируемых задач индустриализации - сигнал, заслуживающий серьёзного внимания.

Структурный анализ промышленности обнаруживает противоречие, которое суммарные индексы роста скрывают. Промышленность Таджикистана подразделяется на три крупных сектора - добывающий, обрабатывающий и энергетический, - и соотношение между ними на протяжении 2018-2024 годов менялось не в пользу структурной диверсификации (таблица 2).

Таблица 2 – Структура отраслей промышленности Республики Таджикистан, % к итогу

Table 2 – Structure of Industrial Sectors in the Republic of Tajikistan, % of total

Сектор / подотрасль	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Добывающая промышленность	19,6	17,6	13,9	21,6	20,7	19,9	24,8
- добыча неэнерг. материалов	18,2	16,2	12,5	20,4	19,3	18,7	23,5
Обрабатывающая промышленность	56,6	57,8	61,7	58,5	63,6	62,7	58,2
- пищевые продукты, напитки, табак	20,5	19,6	22,9	19,6	24,1	24,8	21,3
- металлургия и гот. металл. изделия	11,3	14,0	16,1	15,4	14,2	13,9	15,0
- текстиль и швейное производство	10,4	9,5	9,3	10,5	11,0	9,6	7,2
- неметаллические минер. продукты	9,6	9,4	8,8	7,4	6,8	6,7	6,4
- машиностроение	0,9	1,1	0,9	1,0	1,4	1,3	1,6
- химическое производство	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,3	1,1
- прочие отрасли	3,3	3,6	3,1	3,9	5,1	5,1	5,6
Производство и распределение электроэнергии, воды, газа и тепло	23,8	24,6	24,4	20,9	17,7	19,2	19,0

Источник: составлено на основе [5, с.16-17]

Среди структурных тенденций анализируемого периода наиболее отчётливо прослеживается последовательное укрепление позиций добывающего сектора. В 2020 году его доля опустилась до 13,9 % - минимального значения за весь рассматриваемый период. Временное отступление добычи было обусловлено падением мировых цен на металлы, а не какими-либо структурными изменениями внутри промышленности. Уже в 2021 году, по мере восстановления котировок золота, алюминия и полиметаллов, доля добывающего сектора резко возросла - до 21,6 %. К 2024 году она достигла 24,8 %, то есть максимума за весь семилетний

период. Это означает, что фактически каждый четвёртый сомони промышленного выпуска республики формируется в добывающем секторе. Его основу составляет добыча неэнергетических материалов - руд, драгоценных и цветных металлов, нерудного сырья, на долю которых в 2024 году приходилось 23,5% совокупного промышленного производства.

Обрабатывающая промышленность демонстрирует противоположную динамику. В 2020 году её доля поднималась до 61,7 % - наивысшего значения за период, - однако этот результат носил во многом вынужденный характер: он стал следствием временного провала добычи, а не самостоятельного роста обработки. По мере восстановления добывающего сектора обрабатывающая промышленность начала уступать позиции и к 2024 году опустилась до 56,2 %. Снижение на 5,5 процентных пункта за четыре года - не разовое колебание, а устойчивая нисходящая тенденция. Она свидетельствует о том, что структурная трансформация промышленности в сторону производств с более высокой добавленной стоимостью в анализируемый период фактически не происходила.

Внутри обрабатывающего сектора картина неоднородна. Лидируют пищевая промышленность (21,3 % от всего выпуска в 2024 г.) и металлургия (15,0 %). Металлургия - единственная обрабатывающая подотрасль с устойчивой положительной динамикой доли: плюс 3,7 процентных пункта за период. Напротив, текстильный сектор сократился с 10,4 % до 7,2 %, а в абсолютном выражении производство упало с 4720 млн сомони в 2022 г. до 3896 млн сомони в 2024 г. - снижение на 17 % за два года. Производство неметаллических минеральных продуктов также теряет долю - с 9,6% до 6,4%, хотя в абсолютном выраженииросло с 2298 до 3429 млн. сомони. Его относительное сжатие объясняется исключительно опережающим ростом добычи и металлургии.

Наиболее острую проблему представляют высокотехнологичные производства. Машиностроение занимает 1,6 % выпуска в 2024 году, химическое производство - 1,1 %. Суммарно эти два сегмента дают 2,7 % промышленного производства республики, тогда как в странах с диверсифицированной промышленностью доля только машиностроения, как правило, превышает 15-20%. Данная тенденция имеет устойчивый характер и уходит корнями в предшествующий период. Как показывает Довгялло Я.П., «почти весь объём продукции, выпускаемой отраслями обрабатывающей промышленности, после 2010 г. приходится на низкотехнологичные отрасли, включая отрасли по переработке сырья, и составляет в целом около 70 %», тогда как «происходит, по существу, сворачивание производства в средне- и высокотехнологичных отраслях обрабатывающей промышленности» [3, с. 96].

Энергетический сектор постепенно снижает долю - с 24,6% в 2019 г. до 19,0 % в 2024 г., что сопровождается опережающим ростом других секторов, а не абсолютным падением: в стоимостном выражении производство электроэнергии, газа и воды выросло с 6808 до 10221 млн. сомони.

Для количественной оценки интенсивности выявленных структурных сдвигов применён индекс Рябцева:

$$IR = \sqrt{\frac{(d_{1i} - d_{0i})^2}{d_{1i} + d_{0i}}} \quad (1)$$

где d_{0i} и d_{1i} - доли i -й отрасли в базовом (2018 г.) и отчётном (2024 г.) периодах соответственно.

Шкала интерпретации: до 0,030 - структура не изменилась; 0,030-0,070 - слабые сдвиги; 0,070-0,130 - существенные сдвиги; 0,130-0,200 - значительные сдвиги; свыше 0,200 - коренная трансформация [7, 8].

$$IR = \sqrt{\frac{90,92}{6896,24}} = 0,1148.$$

Полученное значение $IR = 0,1148$ располагается в зоне существенных структурных сдвигов (0,070–0,130). Иными словами, за шесть лет отраслевая структура промышленности не

претерпела коренной перестройки, однако накопленные изменения оказались более значительными, чем можно было бы заключить из одного лишь сопоставления трёх укрупнённых секторов. Наибольший вклад в числитель формулы внесли добывающий сектор (27,04), энергетика (23,04) и металлургия (13,69) - в совокупности эти три позиции формируют около 70% всего структурного сдвига. Обрабатывающая промышленность как сводная позиция демонстрирует почти нулевую суммарную динамику (доля снизилась всего на 0,4 п.п.), однако эта видимая стабильность складывается из разнонаправленных движений, входящих в неё подотраслей - роста металлургии и сокращения текстильного производства, которые в отдельности вносят в структурный сдвиг куда больше, чем агрегат в целом.

Таблица 3 – Расчёт индекса Рябцева по отраслевой структуре промышленного производства Республики Таджикистан
Table 3 – Calculation of the Ryabtsev Index for the Sectoral Structure of Industrial Production in the Republic of Tajikistan

Отрасль / подотрасль	d ₀ 2018, %	d ₁ 2024, %	(d ₁ -d ₀) ²	(d ₁ +d ₀) ²
Добывающая промышленность	19,6	24,8	27,04	1 971,36
Обрабатывающая промышленность	56,6	56,2	0,16	12 723,84
- пищевые продукты, напитки, табак	20,5	21,3	0,64	1 747,24
- металлургия и гот. металл. изд.	11,3	15,0	13,69	691,69
- текстиль и швейное производство	10,4	7,2	10,24	309,76
- неметалл. минеральные продукты	9,6	6,4	10,24	256,00
- машиностроение	0,9	1,6	0,49	6,25
- химическое производство	0,6	1,1	0,25	2,89
- прочие отрасли	3,3	5,6	5,29	79,21
Производство и распределение электроэнергии, воды, газа и тепло	23,8	19,0	23,04	1 831,84
Итого			90,92	6 896,24

Источник: рассчитано авторами

Для выявления наиболее интенсивных периодов структурных изменений рассчитаны цепные значения индекса Рябцева по трём секторам промышленности - добывающему, обрабатывающему и энергетическому - на основе их ежегодных долей в совокупном выпуске (таблица 4).

Таблица 4 – Цепные значения индекса Рябцева по трёхсекторной модели промышленности Республики Таджикистан
Table 4 – Chain values of the Ryabtsev Index for the three-sector model of industry in the Republic of Tajikistan

Период	IR	Интерпретация
2018-2019	0,0190	Структура практически не изменилась
2019-2020	0,0405	Слабые структурные сдвиги
2020-2021	0,0713	Существенные структурные сдвиги
2021-2022	0,0399	Слабые структурные сдвиги
2022-2023	0,0137	Структура практически не изменилась
2023-2024	0,0518	Слабые структурные сдвиги
2018-2024 (итого)	0,0551	Слабые структурные сдвиги

Источник: рассчитано авторами

Результаты расчёта (таблица 4) показывают, что структурные изменения концентрировались в одном периоде. Переход 2020-2021 годов дал IR = 0,0713 - единственное значение в зоне существенных сдвигов за весь ряд. За этот год доля добывающего сектора выросла с 13,9 % до 21,6 %, обрабатывающего - сократилась с 61,7 % до 57,5 %, энергетического - с 24,4 % до 20,9 %. В остальные годы индекс не превышал 0,052, а в 2022-2023 годах составил 0,0137 - структура практически не менялась. Итоговое значение за 2018-2024 годы - 0,0551, зона слабых сдвигов. Все значимые изменения совпадают по времени с колебаниями мировых цен на металлы, а не с мерами промышленной политики.

Пространственная концентрация и региональные диспропорции. Территориальная структура промышленного производства в Таджикистане отличается крайней неравномерностью, причём за анализируемый период эта неравномерность не сгладилась, а усилилась (таблица 5).

Таблица 5 – Объём промышленной продукции по регионам Республики Таджикистан

Table 5 – Volume of Industrial Production by Region of the Republic of Tajikistan

Регион	2018, млн сом.	2024, млн сом.	Доля 2018, %	Доля 2024, %	Рост, раз
Республика Таджикистан	23894	53873	100,0	100,0	2,25
Согдийская область	11498	30499	48,1	56,6	2,65
Хатлонская область	7294	12666	30,5	23,5	1,74
г. Душанбе	2665	5259	11,2	9,8	1,97
РРП	2199	5135	9,2	9,5	2,34
ГБАО	238	314	1,0	0,6	1,32

Источник: составлено на основе [5]

Согдийская область производит 56,6 % всей промышленной продукции республики. В 2018 году её доля составляла 48,1 %, то есть за шесть лет концентрация производства в Согдийской области выросла ещё на 8,5 процентных пункта. Темп роста в 2,65 раза заметно опережает среднереспубликанский показатель в 2,25 раза. Основу промышленности согдийской области составляют металлургия (22,1% в структуре области) и добыча неэнергетических материалов (34,4 %).

Хатлонская область отстаёт от среднереспубликанского темпа: прирост в 1,74 раза против 2,25. В результате её доля снизилась с 30,5 % до 23,5%. Регион специализируется на текстильном производстве (19,1%) и производстве неметаллических минеральных продуктов (11,7%), но именно текстильная отрасль переживает трудности - объёмы сократились с 2691,7 до 2423,5 млн сомони за 2023-2024 годы. Душанбе и РРП вместе формируют 19,3 % промышленного выпуска. Столица концентрирует производства, требующие квалифицированной рабочей силы: пищевую промышленность (23,7% в структуре города), полиграфию (7,1 %) и машиностроение (7,3 %) - наибольшая доля машиностроения среди всех регионов. ГБАО производит лишь 0,6 % промышленной продукции республики, и её доля за период снизилась с 1,0 % до 0,6 % при темпе роста в 1,32 раза - наименьшем среди всех регионов.

Приведённые данные подтверждают вывод о том, что «в Согдийской и Хатлонской областях размещено преимущественно материалоемкое промышленное производство, а в г. Душанбе и РРП - трудоёмкое» [4, с. 65], причём уровень территориальной концентрации за анализируемый период не только сохранился, но и возрос.

Для оценки интенсивности пространственных структурных сдвигов применён индекс Рябцева по региональным долям производства (таблица 6).

Таблица 6 – Расчёт индекса Рябцева по региональной структуре промышленного производства РТ

Table 6 – Calculation of the Ryabtsev Index for the Regional Structure of Industrial Production in the Republic of Tajikistan

Регион	d ₀ 2018, %	d ₁ 2024, %	(d ₁ -d ₀) ²	(d ₁ +d ₀) ²
Согдийская область	48,12	56,61	72,08	10 937,82
Хатлонская область	30,53	23,51	49,28	2 916,16
г. Душанбе	11,15	9,76	1,93	439,24
РРП	9,20	9,53	0,11	347,03
ГБАО	1,00	0,58	0,18	2,53
Итого			123,58	14 642,78

Источник: рассчитано авторами

$$IR = \sqrt{\frac{123,58}{14\,642,78}} = 0,0917$$

Индекс Рябцева по региональной структуре составил 0,0917 - это уже зона существенных структурных сдвигов. Региональная концентрация промышленного производства изменилась за

период сильнее, чем его отраслевая структура. Основной вклад в этот результат вносит перераспределение долей между Согдийской и Хатлонской областями: первая прибавила 8,5 процентных пункта, вторая потеряла 7,0. Пространственная поляризация промышленности усиливается, и без целенаправленной региональной промышленной политики эта тенденция будет воспроизводиться.

Занятость и производительность труда. Кадровые характеристики промышленности дополняют картину структурных изменений. Численность промышленно-производственного персонала (ППП) в 2024 г. составила 92,8 тыс. человек, из которых 75,9 тыс. - рабочие. Наибольшая часть занятых сосредоточена в обрабатывающей промышленности - 64,8 тыс. человек, или 69,8 % от общей численности ППП (таблица 7).

Таблица 7 – Среднегодовая численность ППП по секторам промышленности РТ, тыс. чел.

Table 7 – Average Annual Number of Industrial Production Personnel by Sector of Industry in the Republic of Tajikistan, thousand persons

Сектор	2018	2020	2022	2024	Прирост, %
Всего по промышленности	85,6	84,3	86,3	92,8	+8,4
Добывающая промышленность	10,2	12,6	12,8	14,2	+39,2
Обрабатывающая промышленность	56,5	59,3	60,1	64,8	+14,7
- текстиль и швейное производство	16,3	16,7	16,3	16,0	-1,8
- металлургия и гот. металл. изд.	12,6	11,2	11,2	11,0	-12,7
- пищевые продукты	10,5	12,2	13,2	14,3	+36,2
- машиностроение	1,7	2,0	1,2	1,5	-11,8
Электроэнергия, вода, газ, тепло	18,9	12,4	13,4	13,8	-27,0

Источник: составлено на основе [5]

Данные таблицы 7 открывают несколько неочевидных закономерностей. Добывающий сектор, наращивая производство в 2,85 раза, увеличил занятость лишь на 39,2 % - прямое следствие высокой капиталоемкости горнодобывающих производств. Текстильная промышленность, несмотря на снижение доли в выпуске, сохраняет стабильную занятость около 16 тыс. человек, значит, отрасль теряет производительность: продукции производится меньше, а работников столько же. В металлургии картина обратная: производство растёт, занятость снижается с 12,6 до 11,0 тыс. человек - технологическое замещение труда капиталом. Производительность труда в промышленности в целом выросла с индекса 100 в 2018 году до 181 в 2024 г., однако этот рост во многом объясняется ценовым фактором в добыче, а не технологическими улучшениями в обработке.

Для количественной оценки изменений в структуре занятости рассчитан индекс Рябцева по долям трёх секторов в общей численности ППП (таблица 8).

Таблица 8 – Расчёт индекса Рябцева по структуре занятости промышленности РТ

Table 8 – Calculation of the Ryabtsev Index for the Employment Structure of Industry in the Republic of Tajikistan

Сектор	d ₀ 2018, %	d ₁ 2024, %	(d ₁ -d ₀) ²	(d ₁ +d ₀) ²
Добывающая промышленность	11,92	15,30	11,42	739,90
Обрабатывающая промышленность	66,00	69,83	14,67	18 495,68
Электроэнергия, вода, газ, тепло	22,08	14,87	51,98	1 352,26
Итого			78,07	20 587,84

Источник: рассчитано авторами

$$IR = \sqrt{\frac{78,07}{20\,587,84}} = 0,0616$$

Индекс Рябцева по структуре занятости составил 0,0616 - зона слабых структурных сдвигов. Занятость в промышленности за рассматриваемый период перераспределялась заметно

медленнее, чем менялся объём производства. Основной вклад в числитель формулы внесла энергетика (51,98): доля сектора в общей численности промышленно-производственного персонала сократилась с 22,1 % до 14,9 % на фоне роста производства электроэнергии и газа. Иными словами, энергетический комплекс последовательно замещает труд капиталом, тогда как в большинстве других секторов подобной модернизации не наблюдается.

Расхождение между темпами роста производства и занятости не является случайным. За 2018-2024 годы число промышленных предприятий увеличилось на 75 %, тогда как численность промышленно-производственного персонала выросла лишь на 8,4 %. Это соотношение отражает структурную особенность, характерную для экономики республики в целом: прирост трудоспособного населения устойчиво опережает способность рынка труда его абсорбировать. Р.М. Бабаджанов квалифицирует данную закономерность как хронический разрыв между предложением труда и реальными возможностями трудоустройства, обусловленный недостаточными темпами создания рабочих мест в производственном секторе [1]. Применительно к промышленности это означает, что количественное расширение производственной базы пока не становится действенным механизмом решения проблемы занятости.

Внешнеторговое измерение структурных диспропорций. Внешнеторговая структура республики служит независимым индикатором технологического уровня промышленности - возможно, наиболее объективным из всех рассмотренных (таблица 9). Состав экспортных и импортных потоков отражает не декларируемые приоритеты, а реальные производственные компетенции страны: что умеет производить национальная промышленность и что вынуждена закупать за рубежом. В случае Таджикистана эта картина складывается однозначно - на вывоз идёт сырьё и продукция первичных переделов, на ввоз - машины, оборудование и готовые промышленные товары.

Таблица 9 – Структура товарного экспорта Республики Таджикистан по основным группам, млн долл. США
Table 9 – Structure of Commodity Exports of the Republic of Tajikistan by Main Groups, USD million

Товарная группа	2018	2020	2022	2024	Доля 2024, %
Итого экспорт	1 073,3	1 406,9	2 142,0	1 947,4	100,0
Минеральные продукты	544,4	275,6	894,5	620,1	31,8
Недрагоценные металлы	235,4	187,0	319,4	525,2	27,0
Жемчуг, драг. металлы	2,0	689,7	529,6	347,2	17,8
Текстиль и текст. изделия	226,4	196,3	277,9	269,3	13,8
Продукция химической пром.	8,0	5,9	15,9	58,9	3,0
Машины и оборудование	5,3	7,9	6,4	6,4	0,3
Прочие	51,8	44,5	98,3	120,3	6,3

Источник: составлено на основе [9]

Четыре товарные группы - минеральные продукты, недрагоценные металлы, драгоценные металлы и текстиль - формируют 90,4 % всего товарного вывоза страны. Это продукция первого и второго переделов, стоимость которой определяется мировой конъюнктурой, а не внутренними технологическими компетенциями. Машины и оборудование составляют лишь 0,3% экспорта - 6,4 млн долл. Показательна и резкие колебания экспорта минеральных продуктов: от 544,4 млн долл. в 2018 году до 275,6 млн в 2020 г. и 894,5 млн в 2022 г. Такие колебания - прямое следствие сырьевой специализации без страховки в виде диверсифицированного промышленного экспорта.

Данная тенденция носит системный характер. Как отмечают Джурабаев Г.Дж. и Мукимова Н.Р., «структура экспорта носит преимущественно сырьевой характер: на внешний рынок поставляются в основном сельскохозяйственное сырьё, руда и необработанные металлы», при этом «доля продукции глубокой переработки не превышает 10 %, что значительно снижает эффективность экспорта и превращает Таджикистан в сырьевой придаток промышленно развитых стран мира» [2, с. 289].

Совокупный товарный импорт в 2024 году достиг 7007,6 млн долл. - в 3,6 раза превышая объём экспорта. В структуре ввоза доминируют минеральные продукты (1 266,5 млн долл.), машины и оборудование (941,3 млн долл.) и металлы (647,9 млн долл.). Страна вынуждена

покупать за рубежом именно то, что было бы логично производить внутри при иной структуре промышленности. Дефицит торгового баланса устойчиво превышает 5 млрд долл. в год - это структурная проблема, уходящая корнями в технологическую неразвитость обрабатывающего сектора.

Для количественной оценки глубины изменений в товарной структуре экспорта применён индекс Рябцева по семи товарным группам (таблица 10).

Таблица 10 – Расчёт индекса Рябцева по структуре товарного экспорта РТ (2018-2024 гг.)

Table 10 – Calculation of the Ryabtsev Index for the Structure of Commodity Exports of the Republic of Tajikistan (2018-2024)

Товарная группа	d ₀ 2018, %	d ₁ 2024, %	(d ₁ -d ₀) ²	(d ₁ +d ₀) ²
Минеральные продукты	50,72	31,84	356,44	6 816,90
Недрагоценные металлы	21,93	26,97	25,37	2 391,37
Жемчуг, драгоценные металлы	0,19	17,83	311,26	324,55
Текстиль и текст. изделия	21,09	13,83	52,78	1 219,58
Продукция химической пром.	0,75	3,02	5,19	14,21
Машины и оборудование	0,49	0,33	0,03	0,68
Прочие	4,83	6,18	1,83	121,08
Итого			752,90	10 888,37

Источник: рассчитано авторами

$$IR = \sqrt{\frac{752,90}{10\,888,37}} = 0,2630$$

Значение IR = 0,2630 соответствует зоне коренной трансформации структуры - наивысшей градации шкалы Рябцева. Это разительно контрастирует с умеренными значениями индекса по отраслевой и региональной структурам производства. Экспортная структура Таджикистана за 2018-2024 гг. изменилась принципиально, однако характер этих изменений далеко не однозначен.

Основной вклад в столь высокое значение индекса внесли две товарные группы. На минеральные продукты приходится 47,3% числителя формулы: их доля в экспорте сократилась с 50,72 % в 2018 г. до 31,84 % в 2024 г., потеряв почти 19 процентных пунктов. Жемчуг и драгоценные металлы дают ещё 41,3 % числителя: их доля выросла с 0,19 % до 17,83%. Текстиль потерял 7,3 процентных пункта, его вклад в структурный сдвиг составил 7,0 % числителя.

Таким образом, трансформация экспортной структуры носит не диверсификационный, а перераспределительный характер внутри сырьевого сегмента: место минерального сырья частично занято драгоценными металлами. Доля машин и оборудования в экспорте фактически не изменилась - 0,49% в 2018 году и 0,33% в 2024-м, вклад в индекс составил 0,0 %. Экспорт высокотехнологичной продукции за весь анализируемый период так и не сформировался в сколько-нибудь значимом объёме.

Обсуждение (Discussions)

Сводная таблица индексов Рябцева. Для наглядности результаты расчётов сведены в итоговую таблицу (таблица 11).

Таблица 11 – Сводные значения индекса Рябцева по направлениям анализа (2018-2024 гг.)

Table 11 – Summary Values of the Ryabtsev Index by Areas of Analysis (2018-2024)

Направление анализа	IR	Интерпретация
Отраслевая структура выпуска (9 позиций)	0,1148	Существенные структурные сдвиги
Региональная структура выпуска (5 регионов)	0,0917	Существенные структурные сдвиги
Структура занятости ППП (3 сектора)	0,0616	Слабые структурные сдвиги
Структура товарного экспорта (7 групп)	0,2630	Коренная трансформация структуры

Источник: рассчитано авторами

Совокупность четырёх значений индекса Рябцева позволяет выстроить многомерную картину структурной динамики промышленности Таджикистана за 2018-2024 годы. Каждое из направлений анализа даёт свой, отличный от других результат, и именно это расхождение представляет наибольший аналитический интерес.

Структура занятости промышленно-производственного персонала изменялась медленнее всего ($IR = 0,0616$). Рабочая сила перераспределялась между секторами с заметным запаздыванием относительно производственной динамики - особенно это касается энергетики, где занятость сокращалась на фоне растущего выпуска. Наиболее выраженные сдвиги после экспортной структуры показала именно отраслевая структура производства ($IR = 0,1148$, зона существенных сдвигов) - интенсивнее, чем пространственное распределение выпуска ($IR = 0,0917$). Это указывает на то, что внутриотраслевое перераспределение - прежде всего рост доли добывающего сектора и металлургии при сокращении текстильного производства - оказалось более выраженным структурным процессом, чем изменение географии размещения промышленности. Принципиально важно, что ни один из зафиксированных сдвигов не связан с целенаправленной структурной политикой: все значимые изменения совпадают по времени с колебаниями мировых цен на металлы и минеральное сырьё. Пространственная структура производства изменилась существеннее - $IR = 0,0917$, зона существенных сдвигов. Концентрация промышленного выпуска в Согдийской области нарастала на протяжении всего периода, тогда как доля Хатлонской области и Душанбе последовательно снижалась. Региональная поляризация промышленности оказалась интенсивнее, чем её отраслевая трансформация.

Наиболее неожиданный результат дал расчёт по товарной структуре экспорта: $IR = 0,2630$ - коренная трансформация по шкале Рябцева. Однако содержательный анализ показывает, что за высоким значением индекса стоит не диверсификация и не технологическое усложнение экспортного портфеля. Изменения произошли внутри сырьевого сегмента: доля драгоценных металлов выросла с 0,19 % до 17,83 %, тогда как удельный вес машин и оборудования остался на уровне менее 0,5 %. Структура экспорта трансформировалась, но не в том направлении, которое отвечало бы задачам индустриального развития.

Таким образом, промышленность Республики Таджикистан за 2018-2024 гг. демонстрирует устойчивый количественный рост при весьма ограниченной качественной трансформации. Добывающий сектор последовательно укрепляет своё структурное доминирование, реагируя на благоприятную ценовую конъюнктуру. Высокотехнологичные производства - машиностроение и химическое производство - по совокупной доле не превышают 2,7 % промышленного выпуска и не обнаруживают признаков опережающего роста. Пространственная концентрация производства в одном регионе усиливается. Экспортная специализация республики остаётся сырьевой, а значит - уязвимой перед внешними шоками. Всё это указывает на то, что сложившаяся структура промышленности воспроизводит себя по инерции и не создаёт предпосылок для перехода к более высоким технологическим переделам без активного государственного вмешательства.

Заключение (Conclusions)

Проведённый анализ подтвердил, что промышленность Республики Таджикистан за 2018-2024 гг. развивалась преимущественно по экстенсивному и сырьевому пути. Количественные показатели выглядят убедительно, однако четыре рассчитанных индекса Рябцева в совокупности фиксируют одно и то же: структура промышленности воспроизводит себя без качественных изменений, реагируя на внешнюю конъюнктуру, а не на внутренние стимулы развития.

На основании полученных результатов сформулированы следующие рекомендации.

1. Необходима переориентация промышленной политики с поддержки добывающего сектора на развитие обрабатывающих производств. Доля добычи в выпуске достигла 24,8% при одновременном сокращении доли обрабатывающей промышленности до 56,2 %. В этой связи представляется целесообразным использование налоговых и таможенно-тарифных инструментов, ориентированных на стимулирование глубокой переработки минерального сырья на территории республики, в частности введение дифференцированных экспортных пошлин в зависимости от степени технологической готовности вывозимой продукции. Как обоснованно указывают Рахимзода Ш., Саидмуродзода Л. и Муминова Ф., «обеспечение сбалансированности факторов

спроса должно сопровождаться ростом результативности промышленной политики, направленной на перспективные обрабатывающие производства, а также продвижением процесса продуктивной занятости» [6, с. 135]. Результаты проведённого структурного анализа полностью подтверждают актуальность данного тезиса применительно к современному состоянию промышленности республики.

2. Машиностроение и химическое производство, суммарная доля которых не превышает 2,7% промышленного выпуска, нуждаются в адресной государственной поддержке. Речь идёт о субсидировании процентных ставок по инвестиционным кредитам, льготном налогообложении на начальном этапе производства и создании специализированных технопарков с готовой инфраструктурой.

3. Высокая региональная концентрация производства в Согдийской области (56,6 % выпуска) при одновременном ослаблении позиций Хатлонской области требует пересмотра подходов к размещению промышленных мощностей. Целесообразно разработать региональные программы индустриального развития с конкретными ориентирами по отраслевой специализации каждого региона, прежде всего для Хатлонской области и ГБАО, располагающих нереализованным ресурсным потенциалом.

4. Структура товарного экспорта, в которой машины и оборудование занимают менее 0,5%, а дефицит торгового баланса превышает 5 млрд долл. в год, указывает на необходимость политики импортозамещения по ключевым товарным группам. В первую очередь это касается продукции, которую Таджикистан закупает в наибольших объёмах: нефтепродуктов, машин и металлоизделий.

5. Инертность структуры занятости ($IR = 0,0616$) при интенсивном росте производительности труда свидетельствует о слабой связи между динамикой производства и рынком труда. Программы профессиональной подготовки и переподготовки кадров необходимо привязать к конкретным приоритетным отраслям, определённым промышленной политикой, иначе структурная трансформация промышленности будет происходить без соответствующего кадрового обеспечения.

*Рецензент: Зокирхонзода М.З. – д.э.н., доцент кафедры Бухгалтерского учета, анализа и аудита МЭиП
ПТУК в г. Худжанде.*

Литература

1. Бабаджанов Р.М. Формирование человеческого капитала и проблемы его использования в Республике Таджикистан. Монография. - Душанбе: РТСУ, 2017. - 160 с.
2. Джурабаев, Г. Д. Особенности инновационного развития промышленности Республики Таджикистан / Г. Д. Джурабаев, Н. Р. Мукимова // Экономика Центральной Азии. – 2022. – Т. 6, № 4. – С. 271-298. – DOI 10.18334/asia.6.4.116649. – EDN VZHSLF.
3. Довгялло, Я. П. К вопросу об уровне развития производственного потенциала промышленности Республики Таджикистан / Я. П. Довгялло // Экономика Таджикистана. – 2021. – № 4-2. – С. 91-97. – EDN YJMPAI.
4. Мукимова, Н. Р. Анализ современного состояния отраслей промышленности Республики Таджикистан / Н. Р. Мукимова, Т. Н. Холмуродова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2024. - № 3(67). - С. 59-67. - EDN AXQETA.
5. Промышленность Республики Таджикистан // Статистический сборник [Текст]. - Душанбе - 2025. - 95 с.
6. Рахимзода, Ш. Модели долгосрочного прогнозирования отраслей национальной экономики / Ш. Рахимзода, Л. Х. Саидмуродов, Ф. М. Муминова. – Душанбе : Институт экономики и демографии, 2024. – 170 с. – EDN XCUIXL.
7. Рябцев В.М. Региональная статистика / В.М. Рябцев, Г.И. Чудилин. - М.: Финансы и статистика, 2001. - 451 с.
8. Рябцев, В.М. Структурно-динамический анализ индикаторов инвестиционного климата в Самарской области / В. М. Рябцев, Г. И. Чудилин // Вопросы статистики. - 2002. - № 3. - С. 30-38.
9. Статистический ежегодник Республики Таджикистан 2025 г. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан [Текст]. - Душанбе: Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан, 2025. - 442 с.

Reference

1. Babadzhanov, R.M. Formation of Human Capital and Problems of Its Utilization in the Republic of Tajikistan: Monograph. Dushanbe: RTSU, 2017. - 160 p.
2. Dzhurabaev, G.D., Mukimova, N.R. Features of Innovative Development of Industry in the Republic of Tajikistan. Economy of Central Asia, 2022, Vol. 6, No. 4, pp. 271-298. DOI: 10.18334/asia.6.4.116649. EDN: VZHSFL.
3. Dovgyallo, Ya.P. On the Level of Development of the Industrial Production Potential of the Republic of Tajikistan. Economy of Tajikistan, 2021, No. 4-2, pp. 91-97. EDN: YJMPAI.
4. Mukimova, N.R., Kholmurodova, T.N. Analysis of the Current State of Industrial Sectors of the Republic of Tajikistan. Polytechnic Bulletin. Series: Intellect. Innovation. Investment, 2024, No. 3(67), pp. 59-67. EDN: AXQETA.
5. Industry of the Republic of Tajikistan: Statistical Compendium. Dushanbe, 2025. - 95 p.
6. Rakhimzoda, Sh., Saidmurodov, L.Kh., Muminova, F.M. Models for Long-Term Forecasting of National Economy Sectors. Dushanbe: Institute of Economics and Demography, 2024. 170 p. EDN: XCUIXL.
7. Ryabtsev, V.M., Chudilin, G.I. Regional Statistics. Moscow: Finansy i Statistika, 2001. - 451 p.
8. Ryabtsev, V.M., Chudilin, G.I. Structural and Dynamic Analysis of Investment Climate Indicators in the Samara Region. Voprosy Statistiki, 2002, No. 3, pp. 30-38.
9. Statistical Yearbook of the Republic of Tajikistan 2025. Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. Dushanbe: Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan, 2025.- 442 p.

Сведения об авторах:

Мукимова Наргис Рустамовна, доктор экономических наук, доцент, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3778-6241>. E-mail: mnargis@yandex.ru.

Мирзохomidзода Джахонгир, соискатель кафедры экономики и предпринимательства, Институт экономики и торговли Таджикского государственного университета коммерции в г. Худжанд. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7314-8051>. E-mail: jmirzohomidzoda1997@gmail.com.

Маълумот оид ба муаллифон:

Мукимова Наргис Рустамовна, доктори илмҳои иқтисодӣ, дотсент, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3778-6241>. E-mail: mnargis@yandex.ru.

Мирзохomidзода Ҷаҳонгир, унвонҷӯи кафедраи иқтисодиёт ва соҳибкорӣ, Донишқадаи иқтисод ва савдои Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон дар шаҳри Хучанд. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7314-8051>. E-mail: jmirzohomidzoda1997@gmail.com.

Information about the authors:

Nargis R. Mukimova, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3778-6241>. E-mail: mnargis@yandex.ru.

Jahongir Mirzohomidzoda, Applicant at the Department of Economics and Entrepreneurship, Institute of Economics and Trade of the Tajik State University of Commerce in Khujand. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7314-8051>. E-mail: jmirzohomidzoda1997@gmail.com.

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF THE POTENTIAL OF GORNO-BADAKHSHAN AUTONOMOUS REGION FOR THE FORMATION OF TRANSPORT AND LOGISTICS CENTERS

F.N. Nizomzoda, I.A. Amonulloev

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

This article analyzes and assesses the current state of the transport and logistics potential of the Badakhshan Autonomous Region (GBAO) of the Republic of Tajikistan, with the aim of determining the possibilities for the formation of transport and logistics centers (TLCs). The assessment is based on six interrelated components of regional potential: production, freight-handling, infrastructure, transit, investment, and labor potential. Based on the results of this study, the specific features of GBAO have been considered, more precisely, its geostrategic location, international roads and border crossings, the Ishkashim Free Economic Zone, indicators of gross regional product, trade turnover, and traffic volume. Particular attention is paid to the geostrategic location of GBAO, its borders with Afghanistan, China, and Kyrgyzstan, the international AH-66 road corridor, the Kulma border crossing, the Ishkashim Free Economic Zone, the Murghab border terminal, gross regional product, retail trade turnover, freight volumes, employment, wages, and migration. The study demonstrates that the growth of regional economic indicators alone cannot serve as sufficient evidence for establishing a TLC; the decision should be based on the interaction of freight demand, transit opportunities, infrastructure capacity, investment activity, and labor availability. Khorog, Murghab, and Ishkashim are identified as priority areas for further technical and economic assessment of specialized logistics facilities. Based on the results obtained, the conclusion substantiates the need to create transport and logistics centers in GBAO to improve cargo flows, increase regional connectivity, and support sustainable economic development.

Keywords: *transport and logistics centers, transport and logistics potential, GBAO, transport infrastructure, freight transportation, logistics, international transport corridors, cross-border trade, Ishkashim Free Economic Zone, regional development.*

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОТЕНЦИАЛА ГБАО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ

Ф.Н. Низомзода, И.А. Амонуллоев

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

В статье анализируется и оценивается современное состояние транспортно-логистического потенциала Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) Республики Таджикистан, с целью определения возможностей создания транспортно-логистических центров (ТЛЦ). Оценка базируется на шести взаимосвязанных компонентах регионального потенциала: производственном, грузоперерабатывающем, инфраструктурном, транзитном, инвестиционном и трудовом. В ходе исследования рассмотрены специфические особенности ГБАО, в частности: геостратегическое положение, международные автомобильные дороги и пограничные переходы, свободная экономическая зона «Ишкашим», а также показатели валового регионального продукта, торгового оборота и объемов перевозок. Особое внимание уделено геостратегическому расположению ГБАО, границам с Афганистаном, Китаем и Кыргызстаном, международному транспортному коридору АН-66, пограничному переходу «Кулма», СЭЗ «Ишкашим», пограничному терминалу «Мургаб», а также таким показателям, как валовой региональный продукт, оборот розничной торговли, объемы грузоперевозок, занятость, заработная плата и миграция. Исследование показывает, что рост экономических показателей региона сам по себе не является достаточным основанием для создания ТЛЦ; решение должно приниматься с учетом взаимодействия спроса на грузоперевозки, транзитных возможностей, пропускной способности инфраструктуры, инвестиционной активности и наличия трудовых ресурсов. В качестве приоритетных зон для проведения дальнейшей технико-экономической оценки размещения специализированных логистических объектов определены Хорог, Мургаб и Ишкашим. На основе полученных результатов обосновывается необходимость создания транспортно-логистических центров в ГБАО для оптимизации грузопотоков, повышения связности региона и обеспечения устойчивого экономического развития.

Ключевые слова: *транспортно-логистические центры, транспортно-логистический потенциал, ГБАО, транспортная инфраструктура, грузовые перевозки, логистика, международные транспортные коридоры, приграничная торговля, Ишкашимская свободная экономическая зона, региональное развитие.*

ТАҲЛИЛ ВА БАҲОДИҲИ ҲОЛАТИ КУНУНИИ ИҚТИДОРИ ВМКБ ЧИҲАТИ ТАШАККУЛИ МАРКАЗҲОИ НАҚЛИЁТИЮ ЛОГИСТИКӢ

Ф.Н. Низомзода, И.А. Амонуллоев

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

Дар мақола ҳолати муносири иқтисодии нақлиёт-логистикӣ Вилояти Мухтори Кӯҳистони Бадахшон (ВМКБ)-и Ҷумҳурии Тоҷикистон, бо мақсади муайян кардани имкониятҳо барои таъсиси марказҳои нақлиёт ва логистика (МНЛ) таҳлил ва арзёбӣ карда мешавад. Арзёбӣ ба шаш ҷузъи ба ҳам алоқаманди иқтисодии минтақаи асосӣ ёфтааст: истеҳсолот, коркарди бор, инфрасохтор, транзит, сармоягузорӣ ва қувваи корӣ. Дар таҳқиқот хусусиятҳои ҳоси ВМКБ, аз ҷумла мавқеи геостратегӣ, роҳҳои автомобилгарди байналмилалӣ ва гузаргоҳҳои марзӣ, Минтақаи озоди иқтисодии Ишқошим, инчунин нишондиҳандаҳои маҳсулоти умумии минтақаи, гардиши тичорат ва ҳаҷми интиқол баррасӣ мешаванд. Таваҷҷӯҳи махсус ба мавқеи геостратегӣ, марзҳои он бо Афғонистон, Чин ва Қирғизистон, долони байналмилалӣ нақлиёти АН-66, гузаргоҳи марзии Кулма, Минтақаи озоди иқтисодии Ишқошим, терминали марзии Мурғоб, инчунин нишондиҳандаҳои ба монанди маҳсулоти умумии минтақаи, гардиши чакана, ҳаҷми боркашонӣ, шугъл, музди меҳнат ва муқошират равона карда шудааст. Таҳқиқот нишон медиҳад, ки афзоиши нишондиҳандаҳои иқтисодии минтақа танҳо барои таъсиси МТК асосноккунии кофӣ нест; Қарор бояд бо назардошти таъсири мутақобилаи талабот ба боркашонӣ, имконоти транзитӣ, иқтисодии инфрасохтор, фаъолияти сармоягузорӣ ва мавҷудияти қувваи корӣ қабул карда шавад. Хоруг, Мурғоб ва Ишқошим ҳамчун самтҳои афзалиятнок барои таҳқиқоти минбаъдаи имконпазирии ҷойгиркунии иншооти махсуси логистикӣ муайян карда шуданд. Бар асоси натиҷаҳои бадастомада, зарурати таъсиси марказҳои нақлиёт ва логистикӣ дар ВМКБ барои беҳтар кардани ҷараёни боркашонӣ, беҳтар кардани робитаҳои минтақаи ва таъмини рушди устувори иқтисодӣ асоснок карда шуд.

Калидвожаҳо: *марказҳои нақлиёт-логистикӣ, иқтисодии нақлиёт-логистикӣ, ВМКБ, инфрасохтори нақлиётӣ, боркашонӣ, логистика, долонҳои байналмилалӣ нақлиётӣ, савдои наздисарҳадӣ, Минтақаи озоди иқтисодии Ишқошим, рушди минтақаи.*

Introduction

In the context of economic globalization and the development of regional integration processes, the development of transport and logistics infrastructure is one of the key factors in increasing the competitiveness of the state economy. The Government of the Republic of Tajikistan takes a particular attention to the development of transport infrastructure, improvement of international transport corridors, and formation of logistics centers. These processes are considered important instruments for strengthening economic integration among the regions of the country and improving access to international markets. In this context, GBAO has particular geostrategic importance due to its geographical location and borders with Afghanistan, the People's Republic of China, and the Kyrgyz Republic. The international AH-66 road corridor, the Kulma border crossing, and the Ishkashim Free Economic Zone create favorable conditions for the development of transit transportation, cross-border trade, and logistics services. At the same time, the mountainous terrain of GBAO, the limited size of its population, the concentration of settlements at considerable distances from each other, the dependence on road transport, and persistent negative net migration create specific constraints for the formation of logistics infrastructure.

Previous studies have considered the role of transport logistics in the development of the national economy and the rational location of transport and logistics centers [1, 2]. However, the transport and logistics potential of GBAO has not yet been sufficiently examined through a systematic assessment of its economic, infrastructure, transit, investment, freight-handling, and labor components. This constitutes the research gap addressed in this study. The purpose of this study is to analyze and assess the current transport and logistics potential of GBAO and to identify the main conditions and constraints affecting the formation of transport and logistics centers in the region.

Materials and Methods

The main purpose of this study is to consider and evaluate the transport and logistics potential of GBAO using economic methods and substantiate the necessity and possibility of forming transport and logistics centers in the region. The object of the study is the transport and logistics potential of GBAO as a combination of resources and conditions determining the possibility of establishing and operating transport and logistics centers.

The subject of the study is a set of economic, transport, infrastructure, investment, labor, and transit indicators that characterize the potential of the region for logistics development.

The study uses statistical, comparative, structural, and descriptive methods. Statistical data were obtained primarily from the Statistical Yearbook of the Republic of Tajikistan [3]. For the purposes of the study, the transport and logistics potential of GBAO is divided into six interrelated components: production potential; freight-handling potential; infrastructure potential; transit potential; investment potential; labor potential.

The creation of transport and logistics centers is one of the strategic directions for the development of the transport industry in the Republic of Tajikistan. The analysis and assessment of the potential of regions using the potentials method is a methodology of scientific substantiation, which makes it possible to evaluate each region of the country based on a set of quantitative and qualitative indicators.

The main purpose of this assessment is to determine the degree of readiness of each region for the correct location of transport and logistics centers. This process makes it possible to identify regions with great transport and logistics potential and identify unused resources. The potential method also provides an opportunity to develop and present specific practical recommendations for the Gorno-Badakhshan Autonomous Region. The basis of the potentials method is the identification of the following types of potentials in the region: production capacity - a set of products produced and consumed in the region; load capacity - the volume and directions of cargo transportation; infrastructure capacity - the condition of roads, railways, airports; transit capacity - geographical location and border crossings; investment potential - attracted investments in the transport industry; labor capacity - resources of specialists in the transport industry.

General Characteristics and Transport Position of GBAO

The Gorno-Badakhshan Autonomous Region (GBAO) is one of the largest regions and an administrative unit of the Republic of Tajikistan, located in the eastern part of the country and comprising most of the country's territory. The area of the region is 62,9 thousand square km (more than 44% of the territory of the Republic of Tajikistan) is equal, most of it is occupied by mountains. The population of GBAO on January 01, 2025 was 234,8 thousand people. GBAO has both important geostrategic significance and wide opportunities for the formation of transport and logistics infrastructure. The region borders the following states: the Islamic Republic of Afghanistan, China and the Kyrgyz Republic. The existence of such border links creates an important basis for the organization of international transportation and transit. GBAO includes 8 cities and districts, its center is the city of Khorog. It should be noted that the Kulma border crossing is located in this area, and a large amount of cargo from the People's Republic of China enters Tajikistan through this crossing. A large number of transit freight traffic also passes through this international corridor.

Transit Potential

Transit potential is one of the strongest components of GBAO's transport and logistics potential. The Kulma border crossing is located in the region and provides an important transport connection between Tajikistan and the People's Republic of China. The international AH-66 road corridor - Dushanbe - Kulob - Khorog - Murghab - Kulma - passes through GBAO (Fig.1).



Figure 1-International highway corridor AH-66: Dushanbe-Kulyab-Khorog – Murghab –Kulma
 Source: compiled by the authors based on official road-network and cartographic data.

The transit potential of the region should therefore be considered not simply in terms of road availability but as the possibility of providing a complete range of logistics services, including cargo reception, temporary storage, consolidation, redistribution, vehicle servicing, documentation, customs operations, and coordination of freight flows.

Infrastructure Potential

In recent years, the State and the Government of the Republic of Tajikistan have taken a special interest in the formation and development of transport and logistics infrastructure, reconstruction and reconstruction of highways in this region, and are taking all measures to eliminate these problems and

create favorable lands for the creation of transport and logistics centers. One of the important problems of this region is the lack of roads of international importance, hence the effective operation of the road transport sector. According to statistics, out of 14307 thousand km of highways, this area includes 2739 km, 1276 km of international roads, 384 km of national roads and 1079 km of local roads. Depending on the development of regional potential, geographical nature, socio-economic indicators, it is possible to determine a specific type of logistics center in the region. Therefore, the aforementioned factors may serve as a scientific foundation for examining the issue under consideration.

Labor Potential

The labor potential of GBAO has both positive and limiting characteristics. As noted above, the population of the Gorno-Badakhshan Autonomous Region (GBAO) was approximately 235000 at the beginning of 2024. The analysis of employment and migration indicators in GBAO shows that the number of unemployed has been decreasing from year to year in recent years. In general, the unemployment rate has decreased by 50-60 percent over the past six years. Also, one of the indicators of positive dynamics is wages, which increased from 1200 somoni in 2019 to 2051 somoni in 2024. But the migration rate is estimated as negative, which is alarming given the small population in the region. Thus, the formation of transport and logistics centers leads to the creation of new jobs, the attraction of new specialists and the development of transport infrastructure.

Table 1 – Employment and Migration Indicators in the Gorno-Badakhshan Autonomous Region (GBAO)

Indicator	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2024 as % of 2023
Number of unemployed men, thousand persons	2,2	2,2	2,0	2,4	1,2	1,0	83,3
Number of unemployed women, thousand persons	2,9	2,3	2,7	3,1	2,5	1,2	48,0
Total number of unemployed, thousand persons	5,1	4,5	4,7	5,5	3,7	2,2	59,5
Number of in-migrants, thousand persons	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	83,3
Number of out-migrants, thousand persons	1,9	1,6	1,3	1,4	1,2	1,1	91,7
Net migration, thousand persons	-1,2	-1,0	-0,8	-0,8	-0,6	-0,6	100,0
Average monthly nominal wage	1200,4	1347,4	1459,3	1636,2	1847,3	2051,3	111,0

Source: Compiled by the author.

Economic and Market Potential

GBAO is a mountainous region of the country with a cold climate, and agricultural production is at a low level compared to other regions. Despite such unfavorable conditions, the region has established the production and cultivation of a number of agricultural products. For example, oats, barley, wheat, peas, potatoes, carrots, cabbage, onions, and other foods [2-6].

As of 01.01.2024, more than 18 thousand business entities were registered in GBAO, including 2110 legal entities and more than 16 thousand individual entrepreneurs. Not to mention that investments in various sectors of the national economy increased significantly in GBAO in 2019-2024. According to official statistics, GBAO accounted for 257.4 million somoni in 2019, and in 2023 this figure amounted to 1,256.7 million somoni (almost four times more). In recent years, the range of GBAO regional products has been growing and influencing the development of other industries, which is becoming a favorable basis for the formation of transport and logistics infrastructure. Despite such circumstances, the region's share in the country's gross domestic product is significant (Fig.2).

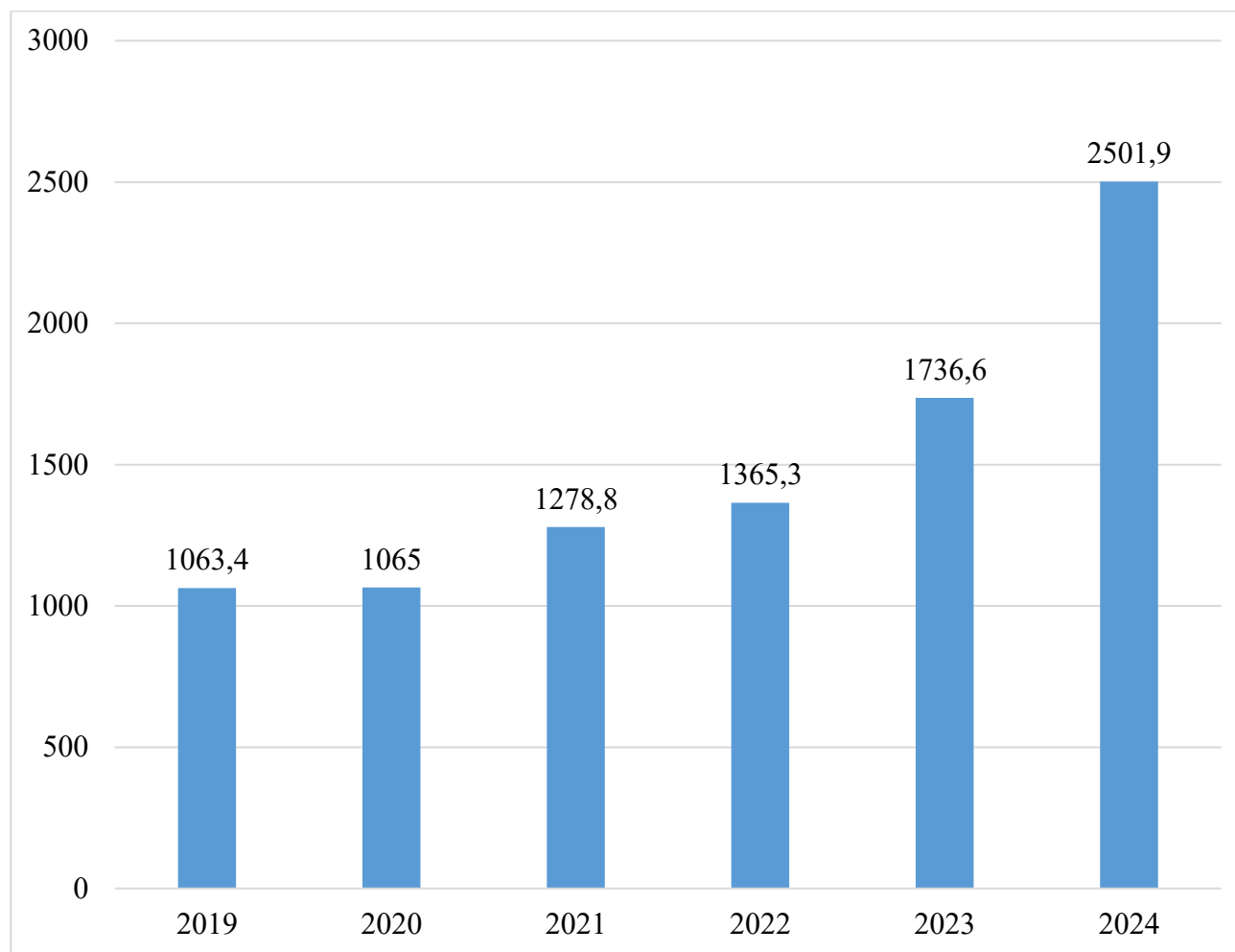


Figure 2 – Gross regional product in GBAO, 2019–2024, million somoni

Source: calculated by the authors based on the Statistical Yearbook of the Republic of Tajikistan (2025).

As it can be seen from the figure, the total volume of regional products has tended to grow in recent years and in 2024 reached 2501.9 million somoni, which is 44.1% more than last year. In 2023, it increased by 27.17% compared to the previous year. In other words, this indicates that the gross regional product is growing and is a sufficient basis for justifying the creation of transport and logistics centers.

It should be noted that the set of regional products reflects the development of the manufacturing industry and determines the level of service. Another indicator that determines the process of reproduction, an indicator of the level of consumption, the development of the domestic market, is the turnover. This indicator is on the path of growth and development in this region and is becoming a favorable basis for the construction of transport and logistics centers. Figure 3 shows the total volume of retail turnover in GBAO for 2019-2024.

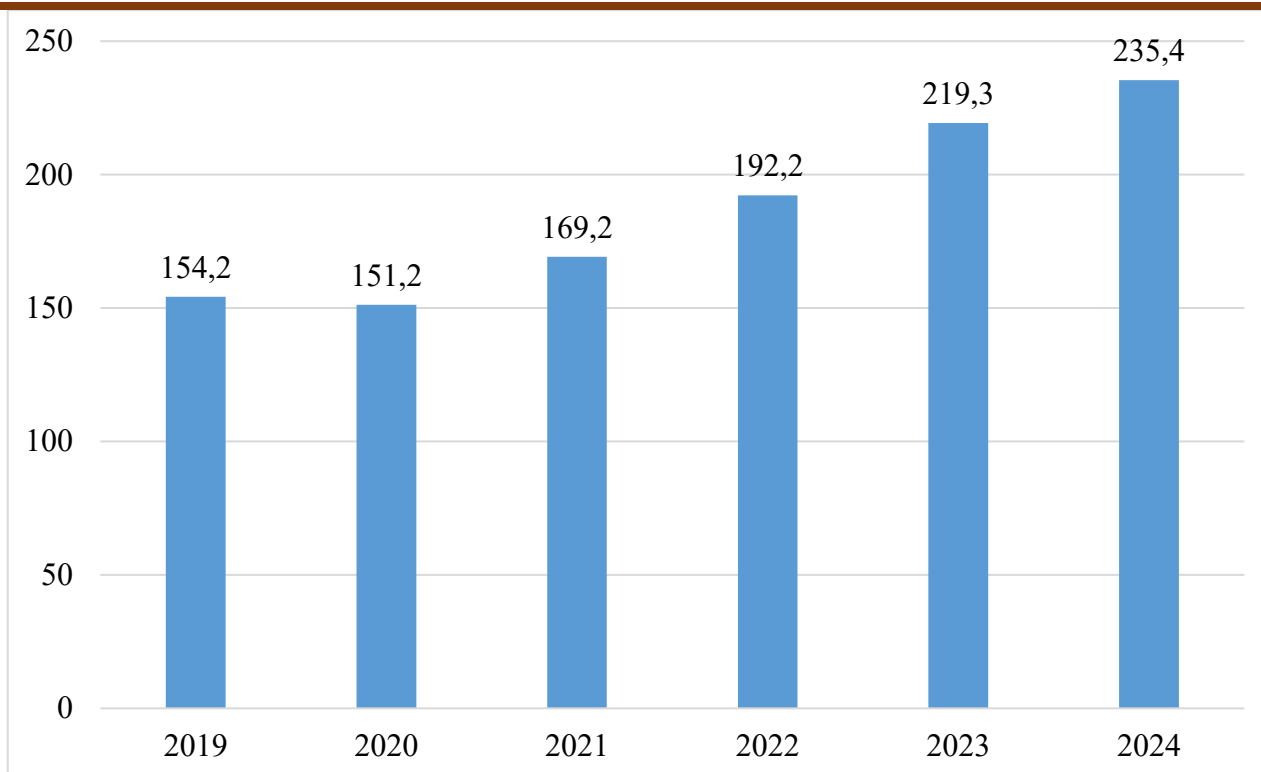


Figure 3 – Total retail trade turnover in GBAO, 2019–2024, million somoni

Source: calculated by the authors based on the Statistical Yearbook of the Republic of Tajikistan (2025)

As can be seen from the figure, the total volume of retail turnover in GBAO is growing from year to year and affects the formation of transport and logistics infrastructure and the development of the country's economy. This figure has increased in recent years, increasing by 14.1% in 2023 compared to 2022 and by 7.1% in 2024 compared to 2023 [3-5].

As we know, GBAO is a harsh mountainous region. This factor negatively affects the accessibility of other modes of transport. In this regard, only road transport is effective in the region, and transport and logistics services both domestically and abroad are provided by road. One of the indicators of transport performance, which is crucial and fundamental for the creation of a transport and logistics center, is the volume of traffic. This indicator in this area can be achieved only if there are vehicles, the condition of which is shown in Figure 4.

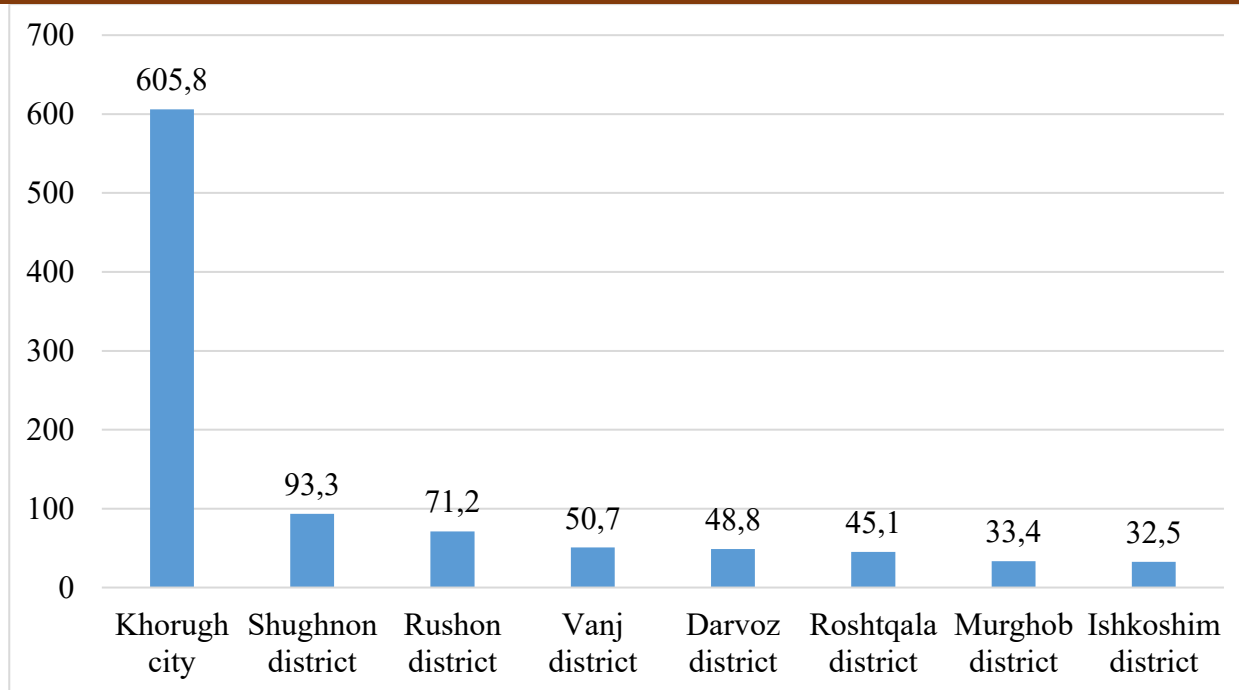


Figure 4 – Freight shipments by districts of GBAO in 2024, thousand tons

Source: calculated by the authors based on the Statistical Yearbook of the Republic of Tajikistan (2025)

As can be seen from the figure, the administrative-territorial center of Khorog region is developing in the direction of cargo transportation, the volume of which reached 605.8 thousand tons in 2024. In other regions of the region, this indicator is also developing, which creates favorable conditions for the formation of transport and logistics centers. In short, GBAO's market and logistics potential shows that the development of various transport and logistics centers provides a significant boost to the development of the region's national economy.

Discussion

It should be noted that terminals and warehouses play a key role in the establishment and development of freight transportation and become the basis for the creation of a new logistics and transport infrastructure. GBAO, as an area located on a transit route, the state of diverse and modern infrastructure is becoming the basis for the development of the region. One of these terminals is the border terminal in Murghab district of GBAO, through which the process of customs clearance, reception and dispatch of goods is carried out. Another important transport and logistics facility as a favorable base is the free economic zone. A similar infrastructure operates in Ishkashim district of the region. Ishkashim free economic zone with an area of 200 hectares is located on the territory of the district, which has significant tax and customs privileges [4-7].

Thus, Khorog, Murghab, and Ishkashim should not be regarded as final and definitive TLC locations at this stage. Rather, they should be considered priority areas for further technical, economic, and spatial assessment. The final selection of locations should subsequently be based on freight-flow forecasts, transport costs, distance to markets and border crossings, infrastructure condition, warehouse requirements, seasonal accessibility, investment requirements, and labor availability.

Conclusions and recommendations

The analysis demonstrates that GBAO possesses a significant basis for the development of transport and logistics infrastructure. The main advantages are associated with the region's geostrategic position, borders with three neighboring countries, the AH-66 international transport corridor, the Kulma border crossing, the Ishkashim Free Economic Zone, and existing terminal infrastructure.

The assessment of the six components of transport and logistics potential shows that transit and infrastructure potential are among the most important components for the development of logistics in GBAO. Economic potential also demonstrates positive dynamics, reflected in the growth of gross regional product, retail trade turnover, investment activity, and freight transportation.

In 2024, the gross regional product of GBAO reached 2,501.9 million somoni, while freight transportation in Khorog reached 605.8 thousand tons. These indicators demonstrate the existence of an economic and transport basis for the development of logistics services. However, they should not be interpreted independently as sufficient evidence for the construction of TLCs. At the same time, the region faces significant constraints, including mountainous terrain, dependence on road transport, limited population, seasonal accessibility, and persistent negative net migration. These factors should be incorporated into the planning and economic assessment of future logistics facilities.

Based on the combined assessment, Khorog, Murghab, and Ishkashim are proposed as priority areas for further investigation of TLC locations. Khorog is more suitable for regional distribution and consolidation functions; Murghab has potential for transit and border-terminal functions; and Ishkashim has potential for cross-border, production, and investment-related logistics.

For the practical development of TLCs in GBAO, the following measures are recommended:

- to analyze freight flows separately by domestic, import, export, and transit directions;
- to assess the technical condition, capacity, and seasonal accessibility of the principal road corridors;
- to integrate existing logistics facilities, particularly the Murghab border terminal and Ishkashim Free Economic Zone, into a coordinated regional logistics system;
- to develop technical and economic feasibility studies for possible TLC locations in Khorog, Murghab, and Ishkashim;
- to establish training and retraining programs for specialists in transport, logistics, customs, warehouse management, and digital technologies;
- to introduce digital information systems for freight tracking, transport coordination, warehouse management, and interaction with customs services;
- to develop an integral quantitative model for ranking potential TLC locations as the next stage of research.

Further research should focus on developing an integral transport and logistics potential index based on normalized indicators and scientifically justified weighting coefficients. Such a model would make it possible to compare the administrative districts of GBAO quantitatively and determine the most appropriate locations for different types of transport and logistics centers.

Reviewer: Pirov J. T. – Candidate of Technical Sciences, First Deputy Director of the State Institution “Automobile Transport and Logistics Services”.

References

1. Nizomzoda, F. N. (2024). The Role and Importance of Transport Logistics in the Development of the National Economy. *Bulletin of the Tajik Technical University. Series: Engineering Research*, 1(65), 160–163.
2. Raufi, A., & Nizomzoda, F. N. (2025). Foundations for the Formation and Improvement of Freight Transportation Based on the Rational Location of a Transport and Logistics Center in Bokhtar City, Khatlon Region. *Bulletin of the Tajik Technical University. Series: Intelligence, Innovation and Investment*, 1(69), 77–82.
3. Statistical Yearbook of the Republic of Tajikistan. – Dushanbe: Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan, 2025.
4. Rakhmangulov, A. N. (2012). Methodological Foundations for Organizing the Functioning of Railway Industrial Transport and Technological Systems. Extended Abstract of Doctoral Dissertation (D.Sc. in Engineering, Specialty 05.22.01). Moscow. 374 p.
5. Government of the Republic of Tajikistan. (2011). State Target Program for the Development of the Transport Complex of the Republic of Tajikistan until 2025. Dushanbe: Government of the Republic of Tajikistan.
6. Sharipov, S. Kh. (2022). Analysis of the Current State and Prospects for the Development of Road Transport Infrastructure in the Republic of Tajikistan. *Public Administration*, 4/2(59), 143–151.
7. Azimov, P. Kh. (2017). Development of Transport and Logistics Infrastructure in the Republic of Tajikistan. *Economics and Management*, 11(2), 14–20.

8. Asadov, Sh. (2012). Tajikistan's Transit Corridors and Their Potential for Developing Regional Trade. *Institute of Public Policy and Administration Working Paper, No. 6*. University of Central Asia, 40 p.
9. Karolina, A. S. Development of a Regional Transport and Logistics System for Freight Delivery (Based on the Example of Samara Region). – [Publication details not provided].
10. Azimov, P. Kh. Development of Transport and Logistics Infrastructure in the Republic of Tajikistan / P. Kh. Azimov // *Economics and Management*. – 2017. – Vol. 11, No. 2. – P. 14–20.
11. Sharipov, S. Kh. Analysis of the Current State and Prospects for the Development of Road Transport Infrastructure in the Republic of Tajikistan / S. Kh. Sharipov // *Public Administration*. – 2022. – No. 4/2(59). – P. 143–151.
12. Government of the Republic of Tajikistan. State Target Program for the Development of the Transport Complex of the Republic of Tajikistan until 2025: Approved by Resolution No. 165 of the Government of the Republic of Tajikistan dated April 1, 2011 (as amended by Resolution No. 518 dated October 25, 2022). – Dushanbe, 2011.

Information about the authors:

Nizomzoda Fakhridin Nizom, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transportation Organization and Transport Management, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2336-9228>. E-mail: fakhridin670@gmail.com

Amonulloev Ikrom Abdukarimovich, candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Transport Logistics, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1105-0022>. E-mail: amonulloev-ikrom@mail.ru

Сведения об авторах:

Низомзода Фахриддин Низом, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры организации перевозок и управления на транспорте Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2336-9228>. E-mail: fakhridin670@gmail.com

Амонуллоев Икром Абдукаримович, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и транспортной логистики Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1105-0022>. E-mail: amonulloev-ikrom@mail.ru

Маълумот дар бораи муаллифон:

Низомзода Фахриддин Низом, номзади илмҳои техникӣ, дотсент, дотсенти кафедраи ташкили ҳамлу накл ва идоракунии дар нақлиёти Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2336-9228>. E-mail: fakhridin670@gmail.com

Амонуллоев Икром Абдукаримович, номзади илмҳои иқтисодӣ, дотсент, дотсенти кафедраи иқтисодиёт ва логистикаи нақлиёти Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1105-0022>. E-mail: amonulloev-ikrom@mail.ru

ТРУДОВОЙ ПОТЕНЦИАЛ В СИСТЕМЕ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Н.Р. Мукимова¹, А.А. Назарзода²

¹Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

²Российско-Таджикский (Славянский) университет, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В статье рассматривается взаимосвязь трудового и инновационного потенциала национальной экономики в условиях цифровой трансформации. Показано, что классическая теория спроса на труд, исходящая из нейтральности технологического прогресса по отношению к занятости, не объясняет наблюдаемое сегодня замещение когнитивного труда системами искусственного интеллекта. На основе критического анализа концепции дополняемости человека и технологий, теории эндогенного роста и концепции обучения в процессе деятельности предложена трёхуровневая модель воспроизводства трудового потенциала применительно к условиям Республики Таджикистан. Установлено, что при текущем уровне проникновения цифровых технологий в стране (55,8% в 2024 году) реализация эффекта дополняемости, а не замещения труда, требует опережающего, а не догоняющего развития системы подготовки кадров. Сделан вывод, что инновационный потенциал национальной экономики наращивается не суммой изолированных мер, а согласованностью макроэкономической образовательной политики, отраслевых механизмов внедрения технологий и корпоративных практик непрерывного обучения. Практическая значимость работы заключается в обосновании конкретных инструментов государственной политики, обеспечивающих превращение количественного демографического роста трудоспособного населения страны в устойчивый качественный инновационный ресурс национальной экономики.

Ключевые слова: трудовой потенциал, инновационный потенциал, цифровизация, эндогенный рост, дополняемость технологий и труда, человеческий капитал, институциональная среда.

ИҚТИДОРИ МЕҲНАТӢ ДАР НИЗОМИ ИҚТИДОРИ ИННОВАТСИОНИИ ИҚТИСОДИӢТИ МИЛЛИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Н.Р. Мукимова, А.А. Назарзода

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

Донишгоҳи (Славянии) Россия ва Тоҷикистон, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола робитаи иқтисодии меҳнатӣ ва иқтисодии инноватсионии иқтисодиёти миллий дар шароити трансформатсияи рақамӣ баррасӣ мешавад. Нишон дода шудааст, ки назарияи классикии талабот ба қувваи корӣ, ки аз бетарафии пешрафти технологияи нисбат ба шуғл бармеояд, ивазшавии имрӯзаи меҳнати маърифатиро бо системаҳои зехни сунъӣ шарҳ дода наметавонад. Дар асоси таҳлили интиқодии консепсияи мукамалкунандагии инсон ва технология, назарияи рушди эндогенӣ ва консепсияи омӯзиш дар ҷараёни ғайбӣ, модели сесатхӣ тақрибистеҳсоли иқтисодии меҳнатӣ нисбат ба шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон пешниҳод шудааст. Муайян карда шудааст, ки дар сатҳи ҳозираи фарогирӣ технологияҳои рақамӣ дар кишвар (55,8% дар соли 2024) татбиқи самараи мукамалкунандагӣ, на ивазкунии қувваи корӣ, рушди пешрафтаи системаи тайёр кардани кадрҳоро, на рушди пайгирӣ, тақозо мекунад. Хулоса бароварда шудааст, ки иқтисодии инноватсионии иқтисодиёти миллий на бо ҷамъи ҷорабиниҳои алоҳида, балки бо ҳамроҳии сиёсати макроиқтисодии маориф, механизмҳои соҳавӣ ҷорӣ намудани технологияҳо ва таҷрибаи корпоративии таҳсили давомдор афзоиш меёбад. Аҳамияти амалии таҳқиқот дар асоснок кардани воситаҳои мушаххаси сиёсати давлатӣ мебошад, ки афзоиши миқдори демографии аҳолии қобили меҳнати кишварро ба захираи устувори сифатии инноватсионии иқтисодиёти миллий табдил медиҳанд.

Калидвожаҳо: иқтисодии меҳнатӣ, иқтисодии инноватсионӣ, рақамикунӣ, рушди эндогенӣ, мукамалкунии технология ва меҳнат, сармояи инсонӣ, муҳити институтсионӣ.

LABOR POTENTIAL IN THE SYSTEM OF INNOVATION POTENTIAL OF THE NATIONAL ECONOMY OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

N.R. Mukimova, A.A. Nazarzoda

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

Russian-Tajik (Slavonic) University, Dushanbe, Republic of Tajikistan

The article examines the relationship between labor potential and the innovation potential of the national economy under conditions of digital transformation. It is shown that the classical theory of labor demand, which assumes the neutrality of technological progress with respect to employment, fails to explain the substitution of cognitive labor by artificial intelligence systems currently observed. Based on a critical analysis of the human–technology complementarity concept, endogenous growth theory, and the concept of learning by doing, a three-level model of labor potential reproduction is proposed for the conditions of the Republic of Tajikistan. It is established that, given the current level of digital technology penetration in the country (55.8% in 2024), realizing the complementarity effect rather than the substitution effect requires anticipatory, rather than catch-up, development of the workforce training system. It is concluded that the innovation potential of the national economy is built up not through a sum of isolated measures, but through the coordination of macroeconomic education policy, sectoral mechanisms for technology adoption, and corporate practices of continuous learning. The practical significance of the study lies in substantiating specific public policy instruments that convert the country's quantitative demographic growth of the working-age population into a sustainable qualitative innovation resource for the national economy.

Keywords: labor potential, innovation potential, digitalization, endogenous growth, technology-labor complementarity, human capital, institutional environment.

Введение (Introduction)

Взаимосвязь трудового потенциала и инновационного развития национальной экономики традиционно рассматривалась экономической наукой через призму человеческого капитала - способности работника генерировать доход за счёт накопленных знаний и навыков. Цифровая трансформация экономики заставляет пересмотреть эту связь. Если раньше технологический прогресс воспринимался преимущественно как фактор, расширяющий спрос на труд за счёт роста производительности, то распространение технологий искусственного интеллекта поставило под сомнение универсальность этого допущения.

Для Республики Таджикистан данный теоретический сдвиг накладывается на собственную, во многом парадоксальную динамику рынка труда. С одной стороны, страна располагает устойчиво растущим демографическим ресурсом: численность трудовых ресурсов увеличилась с 5427 тыс. человек в 2018 году до 5982 тыс. в 2024 году [7]. Национальная стратегия развития на период до 2030 года ставит на этой основе две конкретные цели: довести численность населения в трудоспособном возрасте до 6,8 млн человек и одновременно поднять долю занятых до 70% от этой численности [4].

С другой стороны, за этими плановыми показателями стоит структура рынка труда, которая пока далека от предполагаемой стратегией модели. Современный рынок труда республики фактически трёхкомпонентен: он складывается из формальной занятости, сосредоточенной преимущественно в государственном секторе и на крупных предприятиях, значительной доли неформальной и сезонной занятости, а также внешней трудовой миграции, которая остаётся ключевым источником доходов для многих домохозяйств [1, с. 66]. Официальный уровень безработицы (1,8-1,9%) при этом слабо отражает реальное положение дел: специалисты и международные организации указывают на существенный разрыв между официальными и фактическими показателями занятости, обусловленный именно масштабом неформального сектора и миграционного оттока.

Эта структурная особенность имеет прямое значение для темы настоящей статьи. Демографический прирост рабочей силы сам по себе не гарантирует роста инновационного потенциала экономики: если значительная часть трудоспособного населения остаётся вне формального сектора или покидает страну в поисках заработка, ни один из механизмов накопления человеческого капитала - ни эффект дополняемости технологий и труда, ни внешние эффекты образования, о которых пишут теоретики эндогенного роста, - не может реализоваться в полной мере. Страна одновременно наращивает численность рабочей силы и переживает неравномерную цифровизацию экономики. Вопрос о характере взаимодействия труда и технологий приобретает при этом практический смысл: сможет ли растущее предложение труда быть освоено формирующейся цифровой экономикой, или оно, как и прежде, останется сосредоточенным в неформальной занятости и миграционном оттоке.

Цель статьи - систематизировать теоретические концепции, объясняющие взаимосвязь трудового и инновационного потенциала экономики в условиях цифровизации, и на этой основе предложить применимую к условиям Таджикистана модель управления воспроизводством трудового потенциала. Для наглядного представления характера этой взаимосвязи в статье предлагается авторская схема, отражающая место трудового потенциала в структуре инновационного потенциала национальной экономики и связи между его отдельными компонентами.

На основе анализа концепций дополняемости человека и технологий, эндогенного роста и обучения в процессе деятельности, а также работ отечественных ученых, посвящённых институциональному разрыву между наукой, образованием и бизнесом в Таджикистане [2; 6], авторами сформулирована трёхуровневая модель воспроизводства трудового потенциала, показывающая, на каком именно уровне управления - макро-, мезо- или микроэкономическом - данный разрыв проявляется применительно к каждому из трёх рассмотренных механизмов. На этой основе обоснован тезис о взаимной незаменимости уровней: устранение разрыва на одном из них не компенсирует его сохранение на двух остальных. Практическое значение предложенной модели состоит в её применении к показателям цифровизации Республики Таджикистан - проникновению интернета, доле студентов ИКТ-направлений, расходам на науку, что

обосновывает вывод об опережающем, а не догоняющем характере требуемой политики подготовки кадров.

Методы исследования (*Materials and methods*)

Работа выполнена на основе методов теоретического анализа и синтеза - при разборе зарубежных концепций дополняемости человека и технологий (Д. Асемоглу, П. Рестрепо), эндогенного роста (Р. Лукас, П. Ромер) и обучения в процессе деятельности (К. Эрроу), а также при последующем обобщении отечественных исследований институциональных условий Таджикистана в единую трёхуровневую модель воспроизводства трудового потенциала. Метод критического анализа применялся для выявления границ применимости классической теории спроса на труд в условиях распространения технологий искусственного интеллекта, а сравнительный метод - при сопоставлении темпов расширения цифровой инфраструктуры и темпов адаптации системы подготовки кадров в республике. Для иллюстрации выявленного разрыва привлечены официальные статистические данные о численности трудовых ресурсов, проникновении интернета, доле студентов ИКТ-специальностей и расходах государственного бюджета на науку в Республике Таджикистан за 2015–2024 гг.

Результаты (*Results*)

Прежде чем переходить к анализу взаимосвязи трудового потенциала с инновационным развитием экономики, необходимо разграничить два близких, но не тождественных понятия, на которых строится дальнейшее изложение. Трудовой потенциал представляет собой совокупную способность трудоспособного населения к участию в общественно полезной деятельности, определяемую его демографическими характеристиками (численностью и половозрастной структурой), физическим и психологическим здоровьем, уровнем образования и квалификации, а также готовностью и способностью применять накопленные знания и навыки в конкретных социально-экономических условиях. Человеческий капитал, в отличие от него, - категория индивидуального уровня: она отражает накопленные конкретным работником знания, навыки и его способность генерировать на этой основе доход. Трудовой потенциал же является категорией более высокого, агрегированного уровня: он характеризует не отдельного человека, а совокупный ресурс общества в целом, включающий наряду с накопленным человеческим капиталом ещё и демографическую, миграционную и институциональную составляющие, определяющие, в какой мере этот капитал вообще может быть реализован в производственном процессе. Иными словами, человеческий капитал формирует качественное ядро трудового потенциала, но не исчерпывает его: значительная часть трудоспособного населения может обладать накопленным образованием и квалификацией, но оставаться вне формального рынка труда в силу отмеченных выше демографических, миграционных или институциональных ограничений [1, с. 66] - и в этом случае она учитывается в составе трудового потенциала страны, но не реализуется как действующий инновационный ресурс её экономики.

Классическая теория спроса на труд исходит из того, что технологический прогресс, повышая производительность в одних секторах экономики, высвобождает ресурсы для расширения занятости в других - в конечном счёте создавая больше рабочих мест, чем вытесняет. Это допущение долгое время подтверждалось эмпирически: механизация сельского хозяйства высвобождала рабочую силу для промышленности, автоматизация промышленного производства - для сферы услуг. За каждой волной технологических изменений следовал период структурной перестройки занятости, но итоговый баланс неизменно оказывался положительным: число вновь созданных рабочих мест превышало число вытесненных технологическим прогрессом, пусть и с существенным временным лагом и социальными издержками переходного периода.

Логика этого механизма долгое время казалась универсальной именно потому, что автоматизация затрагивала преимущественно рутинные, физически измеримые операции - сборку деталей, обработку сырья, выполнение стандартных вычислений. Труд, требующий суждения, гибкости и работы с неструктурированной информацией, оставался прерогативой человека почти по определению: считалось, что такие задачи слишком плохо формализуемы, чтобы их можно было передать машине. Именно эта граница - между тем, что поддается алгоритмизации, и тем,

что ей не поддаётся, - задавала пределы возможного замещения труда технологиями на протяжении большей части индустриальной эпохи.

Современные цифровые технологии, и в первую очередь системы искусственного интеллекта, разрушают логику этого механизма именно потому, что стирают указанную границу. Э. Бриньолфссон и Э. Макафи показывают, что цифровые технологии способны замещать не только рутинный физический, но и когнитивный труд - тот сегмент занятости, который прежде считался защищённым от автоматизации в силу своей неструктурированности [11, р. 189]. Речь идёт уже не о конвейерной сборке или расчётах по формуле, а о задачах распознавания образов, постановки диагноза, юридического анализа документов, перевода текста - областях, которые ещё недавно требовали многолетней профессиональной подготовки и считались недостижимыми для машинного исполнения. Когда граница между алгоритмизируемым и неалгоритмизируемым трудом смещается настолько далеко, прежнее допущение классической теории, что высвобождаемые работники всегда найдут применение в новых, ещё не автоматизированных секторах, перестаёт быть самоочевидным: если под замещение попадает не только физический, но и когнитивный труд, резерв «защищённых» ниш для перетока рабочей силы сокращается значительно быстрее, чем в предыдущие технологические эпохи.

Данное обстоятельство принципиально меняет постановку исследовательской задачи. Если раньше вопрос состоял в том, как обеспечить переток высвобождаемой рабочей силы в новые секторы, то сегодня встаёт вопрос иного порядка: при каких условиях цифровые технологии дополняют труд работника, повышая его производительность, а при каких - замещают его труд целиком, делая его компетенции избыточными. Ответ на этот вопрос лежит не в сфере общих рассуждений о темпах технологического прогресса, а в конкретной концепции, разграничивающей два принципиально разных сценария взаимодействия человека и технологии - *концепции дополняемости человеческого и искусственного интеллекта*.

Разработавшие эту концепцию Д. Асемоглу и П. Рестрепо разграничивают два принципиально разных типа задач: задачи, в которых технологии замещают человека, устраняя необходимость в его труде, и задачи, в которых технологии выступают дополнением к труду человека, усиливая его результативность [9]. Показательно, что это разграничение проходит не по формальному признаку сложности задачи - рутинная она или нерутинная, а по способу встраивания технологии в производственный процесс: одна и та же технология способна как замещать, так и дополнять труд в зависимости от того, как организовано её применение и насколько работник подготовлен к взаимодействию с ней. Иначе говоря, судьба конкретного рабочего места решается не техническими характеристиками алгоритма, а управленческим решением о том, кем и как эта технология используется.

Именно в случае дополняемости достигается рост производительности без сокращения занятости. Однако реализация этого сценария обусловлена критическим условием: система образования и профессиональной подготовки должна успевать поставлять работников, способных эффективно работать в паре с технологией, а не быть вытесненными ею. Дополняемость, таким образом, это не автоматическое свойство самой технологии, а результат сознательного управленческого выбора, требующего опережающих инвестиций в трудовой потенциал. Без целенаправленной подготовки кадров эффект дополняемости не реализуется сам по себе, и экономика по умолчанию оказывается в сценарии замещения.

Именно здесь концепция дополняемости выходит за рамки узкой теории занятости и приобретает прямое отношение к структуре инновационного потенциала национальной экономики. Инновационный потенциал страны принято раскладывать на несколько составляющих: научно-исследовательскую базу, технологическую инфраструктуру, институциональную среду, финансовые ресурсы для внедрения новшеств и, что для настоящей работы принципиально, кадровую составляющую - способность работников не просто эксплуатировать новую технику, а осваивать, адаптировать и совершенствовать технологические решения в ходе их применения. Трудовой потенциал в этой логике занимает особое положение среди перечисленных составляющих: он выступает тем звеном, через которое остальные компоненты инновационного потенциала вообще способны конвертироваться в реальный экономический результат.

Сама эта конвертация, однако, происходит не напрямую, а через один из трёх альтернативных каналов. Первый канал - накопление практического опыта, не требующее новых вложений. Второй - дополняемость труда и технологий, обеспечивающая рост производительности без потерь занятости. Третий - замещение, при котором вытеснение работников технологией не компенсируется соразмерным приростом производительности. Первые два канала ведут к инновационному эффекту, третий - к вытеснению труда из производственного процесса, а результат их совместного действия через внешние эффекты повторно воздействует на финансовую и институциональную составляющие инновационного потенциала, придавая всей структуре взаимосвязей замкнутый, а не линейный характер. Место трудового потенциала в этой структуре и перечисленные каналы его конвертации в инновационный результат обобщены на рисунке 1.

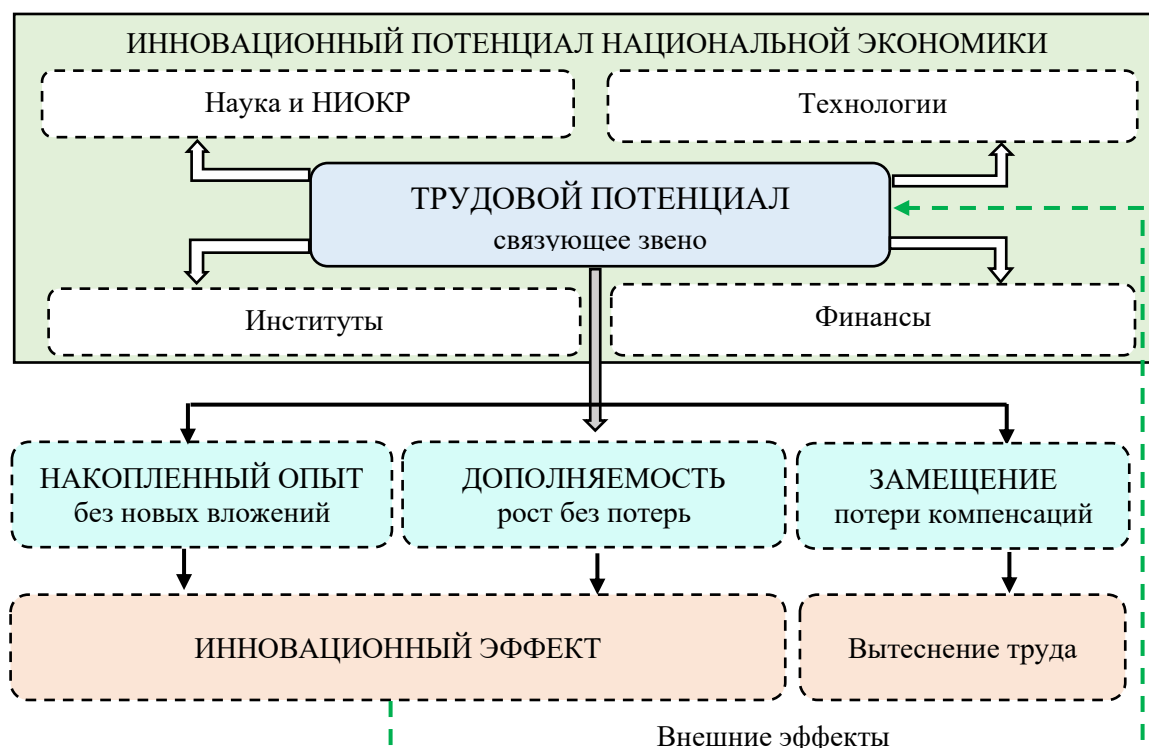


Рисунок 1 – Трудовой потенциал в системе инновационного потенциала национальной экономики: каналы конвертации в инновационный результат

Figure 1 – Labor Potential within the Innovation Potential System of the National Economy: Its Place and Channels of Conversion into Innovation Outcome

Источник: составлено авторами

Самая совершенная технологическая инфраструктура и самое щедрое финансирование НИОКР не производят инновационного эффекта, если работники, которым предстоит с этой инфраструктурой взаимодействовать, к такому взаимодействию не подготовлены. Из трёх каналов, представленных на рисунке 1, именно дополняемость, описанная Асемоглу и Рестрепо, показывает, при каком условии трудовой потенциал становится действующим элементом инновационной системы страны, а при каком - переходит в канал замещения и превращается в пассивный, а затем и вытесняемый ресурс.

Для Таджикистана этот теоретический выбор имеет непосредственное практическое значение. Проникновение интернета в стране выросло с 19,0% в 2015 году до 55,8% в 2024 г. [15], то есть технологическая инфраструктура для внедрения цифровых решений расширяется быстрыми темпами. Вместе с тем доля выпускников вузов по ИКТ-направлениям за тот же период не показала устойчивого роста и в 2024 году составила лишь 4,9% от общего числа выпускников

вузов [5] - почти вдвое ниже, чем в странах с развитой цифровой экономикой (для сравнения, в Эстонии этот показатель достигал 9,6% в 2022 году [12]). Возникает институциональный разрыв: инфраструктурная база для цифровизации формируется быстрее, чем кадровая база, способная работать в логике дополняемости, а не вытеснения. С точки зрения структуры инновационного потенциала это означает следующее: одна из его составляющих - технологическая инфраструктура - наращивается опережающими темпами, тогда как другая, кадровая, отстаёт, и именно это рассогласование, а не дефицит технологий как таковых, определяет сегодня реальный предел инновационного развития страны.

Обозначенная связь между трудовым потенциалом и остальными компонентами инновационного потенциала национальной экономики требует систематизации, выходящей за пределы одной лишь концепции дополняемости. Дальнейшее рассмотрение того, как трудовой потенциал соотносится с логикой долгосрочного экономического роста и практическим накоплением опыта, позволит уточнить, через какие ещё каналы он воздействует на инновационную систему страны, и подготовит основу для авторской модели, обобщающей эти связи в целостном виде.

Если концепция дополняемости объясняет, при каких условиях технологии не замещают, а усиливают труд, то *теория эндогенного роста* отвечает на другой, более фундаментальный вопрос: посредством какого механизма накопление трудового потенциала само порождает прирост инновационного потенциала экономики, а не просто пассивно адаптируется к уже свершившимся технологическим изменениям. Применительно к структуре инновационного потенциала, о которой шла речь выше, это означает следующее: кадровая составляющая не просто использует то, что создано научно-исследовательской базой и технологической инфраструктурой, она сама выступает источником их последующего расширения. Инвестиции в кадры в этой логике перестают быть реакцией на технологические сдвиги и становятся их предпосылкой.

Р. Лукас показал, что образование создаёт внешние эффекты, выходящие далеко за пределы отдачи для отдельного работника: рост квалификации одних работников повышает производительность окружающих их коллег, даже если те не проходили аналогичного обучения [13, р. 38]. Применительно к инновационному потенциалу этот механизм означает, что вложения в трудовой потенциал одного предприятия или отрасли распространяются шире собственных границ - квалифицированные работники меняют организацию труда, темп внедрения новшеств и требования к остальным участникам производственного процесса, тем самым наращивая инновационный потенциал экономики в целом, а не только потенциал конкретного рабочего места.

П. Ромер развил эту логику дальше, показав, что в основе устойчивого экономического роста лежит не сам по себе накопленный человеческий капитал, а технологическое знание, которое человеческий капитал производит: в отличие от труда и физического капитала, технология - воплощённые в разработках и идеях знания - обладает свойством неконкурентности, то есть её использование одной фирмой не уменьшает возможности её использования другими [14]. Отсюда следует, что ценность трудового потенциала в инновационной экономике определяется не только его объёмом, но и его способностью производить именно такое неконкурентное, тиражируемое знание, прежде всего, через занятость в научно-исследовательском секторе экономики.

Практический вывод из этой теоретической позиции для стран с формирующейся цифровой экономикой, к которым относится Таджикистан, состоит в том, что значимость трудового потенциала как компонента инновационного потенциала определяется не отдачей от него самого, а тем, способен ли он производить неконкурентное технологическое знание, которое затем распространяется в экономике без потерь для первоначального создателя. Это меняет саму логику приоритизации государственных расходов на развитие инновационного потенциала: вложения в подготовку кадров оправданы не потому, что человеческий капитал сам по себе даёт возрастающую отдачу, а потому, что именно через него формируется запас идей и разработок, использование которых одной фирмой не исключает такого же использования другими. Для экономики с ограниченными бюджетными возможностями данный вывод приобретает особое практическое значение: если наращивание научно-исследовательской базы и технологической

инфраструктуры требует значительных единовременных вложений, то развитие кадровой составляющей инновационного потенциала способно со временем дать сопоставимый эффект при существенно меньших затратах - не потому, что сами кадры тиражируются без потерь, а потому, что произведённое ими знание способно распространяться в экономике именно таким образом.

Дополняет эту картину *концепция обучения в процессе деятельности* (learning by doing), предложенная К. Эрроу: он показал, что рост производительности труда сопровождается не столько формальное накопление знаний, сколько кумулятивный опыт производственной деятельности, воплощающийся в постепенном совершенствовании самого производственного процесса - даже без новых капиталовложений производительность способна расти за счёт накопленных практических навыков и постепенной отладки технологических операций [10]. Для структуры инновационного потенциала это означает существование канала его наращивания, не требующего предварительных вложений в научно-исследовательскую базу или технологическую инфраструктуру: рост квалификации происходит здесь как побочный, но неизбежный результат самого производственного процесса.

Для Таджикистана, где доля затрат реального сектора на инновационные разработки остаётся крайне низкой, а расходы государственного бюджета на науку составляет в 2024 году лишь 0,1% от ВВП [8], этот тезис приобретает особое практическое значение. Даже при сохраняющейся ограниченности прямых инвестиций в научно-исследовательскую составляющую инновационного потенциала его кадровая составляющая может наращиваться через практическое освоение цифровых технологий непосредственно на рабочем месте - по каналу, для активизации которого не требуется масштабного бюджетного финансирования, но требуется целенаправленная организационная политика на уровне отдельных предприятий: продуманная ротация задач, наставничество, постепенное усложнение операций, доверяемых работнику по мере накопления им опыта. Там, где бюджетные ограничения не позволяют рассчитывать на быстрый рост инвестиций в остальные компоненты инновационного потенциала, обучение в процессе деятельности превращается из вспомогательного механизма в один из немногих реально доступных источников его наращивания через кадровую составляющую.

Рассмотренные выше концепции - *дополняемости, эндогенного роста и обучения в процессе деятельности* - описывают преимущественно экономические механизмы взаимодействия труда и технологий: они объясняют, при каких условиях трудовой потенциал производит инновационный эффект, но почти ничего не говорят о том, кто и как должен создавать эти условия на практике. Между тем экономический механизм, сколь бы убедительно он ни был описан теоретически, реализуется не сам по себе, а через конкретные институты - систему образования, механизмы взаимодействия науки и производства, государственную политику подготовки кадров, - устройство которых существенно варьируется от страны к стране. Именно институциональная среда определяет, воплотится ли теоретически описанный потенциал дополняемости или возрастающей отдачи в реальный экономический результат, или останется нереализованной возможностью. Отечественные исследователи, обращавшиеся к этой проблеме применительно к Таджикистану, сходятся в том, что именно институциональная составляющая, а не нехватка теоретического понимания механизмов роста, выступает главным ограничителем.

С.Ж. Комилов последовательно обосновывает тезис о том, что инновационное развитие Таджикистана невозможно без опережающего, а не догоняющего развития трудового потенциала [2, с. 178]. За этой формулировкой стоит конкретное институциональное требование: подготовка кадров должна предшествовать внедрению технологий, а не следовать за ним постфактум, то есть решения о том, какие специальности и в каком объёме готовить, должны приниматься с учётом технологических изменений, которые ещё только предстоят, а не в ответ на уже обнаружившийся дефицит компетенций. Догоняющая модель, при которой система образования реагирует на нехватку кадров только после того, как она стала очевидной, обрекает экономику на постоянное отставание - к моменту, когда система подготовки успевает перестроиться, технологические требования успевают измениться снова.

Обсуждение (*Discussions*)

Из этой логики следует более общий вывод: речь должна идти не о точечном обновлении отдельных образовательных программ, а о пересмотре самих принципов, по которым система профессионального образования формирует компетенции. Добавление нескольких дисциплин по цифровым технологиям в существующие учебные планы при сохранении прежней логики подготовки кадров институциональной проблемы не решает - оно лишь создаёт видимость реагирования на технологические изменения, оставляя незатронутым сам механизм, по которому образовательная система определяет, каких специалистов и в каком объёме готовить [3].

Р.К. Раджабов и Б.Х. Нурдинов, рассматривая интеграцию науки, образования и бизнеса как новую парадигму формирования инновационной экономики Таджикистана, называют разрыв между этими тремя секторами одной из главных причин, тормозящих реализацию инновационного потенциала страны, и указывают на отсутствие устойчивого механизма их взаимодействия [6]. Эта институциональная разобщённость означает, что даже качественная подготовка кадров остаётся оторванной от реальных потребностей производства: образовательные учреждения продолжают готовить специалистов по собственной, внутренне непротиворечивой логике, которая не обязательно совпадает с тем, что реально требуется предприятиям, внедряющим новые технологии.

Общим для всех трёх позиций оказывается требование системной, а не фрагментарной перестройки институтов воспроизводства трудового потенциала. Ни одна из рассмотренных работ не сводит проблему к нехватке ресурсов или недостаточной осведомлённости о международном опыте. В каждой из них указывается на одну и ту же институциональную неполноту, только с разных сторон: подготовка кадров реагирует на уже возникший дефицит специалистов вместо того, чтобы опережать его; образовательная система обновляет отдельные курсы и дисциплины, но не пересматривает саму логику, по которой формируются компетенции; наука, образование и бизнес признают необходимость связи друг с другом, но не создают устойчивого механизма для такой связи. Такой вывод согласуется с рассмотренными выше зарубежными концепциями, однако переносит акцент с самого экономического механизма на институциональные условия его реализации.

Вместе с тем рассмотренные работы обозначают, но не разворачивают практический вопрос: какая институциональная конфигурация - сочетание образовательной, научной и производственной политики - способна обеспечить опережающий, системный и интегрированный характер воспроизводства трудового потенциала применительно к условиям конкретной страны. Ответ на этот вопрос требует перехода от анализа отдельных теоретических позиций к построению целостной модели, обобщающей рассмотренные концепции и институциональные требования.

Обобщение рассмотренных теоретических позиций позволяет представить воспроизводство трудового потенциала в условиях цифровизации как трёхуровневую систему, действующую внутри институциональной среды, образуемой связью науки, образования и бизнеса. Каждый уровень системы отвечает за реализацию определённого механизма из числа описанных выше и одновременно подключён к отдельному компоненту инновационного потенциала национальной экономики; общий вид этой системы представлен на рисунке 2.

Макроуровень охватывает государственную политику в области образования, здравоохранения, занятости и миграции. Именно на этом уровне реализуется логика теории эндогенного роста: масштабные и последовательные инвестиции в образовательную систему создают внешние эффекты, о которых писал Лукас, - рост квалификации распространяется по экономике шире, чем это отражается в индивидуальных доходах конкретных работников. Применительно к Таджикистану это означает, что решения о структуре подготовки кадров, финансировании образования и миграционной политике принимаются как единый пакет, а не как разрозненные ведомственные меры, - и именно на этом уровне закладывается качество кадров как таковое, та часть инновационного потенциала страны, которая определяется общим уровнем человеческого капитала, а не отдельными научными или технологическими проектами.

Мезоуровень охватывает региональные и отраслевые механизмы согласования спроса и предложения на рынке труда. Именно на этом уровне решается задача, поставленная концепцией

дополняемости Асемоглу и Рестрепо: определяется, будет ли внедрение конкретной технологии в отрасли сопровождаться параллельной программой переподготовки работников или произойдёт без такой программы. Для отраслей таджикской экономики, где цифровизация идёт неравномерно, это означает, что отраслевые министерства и объединения работодателей должны заранее формировать требования к компетенциям, а не фиксировать уже возникший дефицит кадров постфактум. Это тот уровень, на котором технологическая инфраструктура как компонент инновационного потенциала либо находит подготовленного работника, либо остаётся неиспользованным ресурсом.

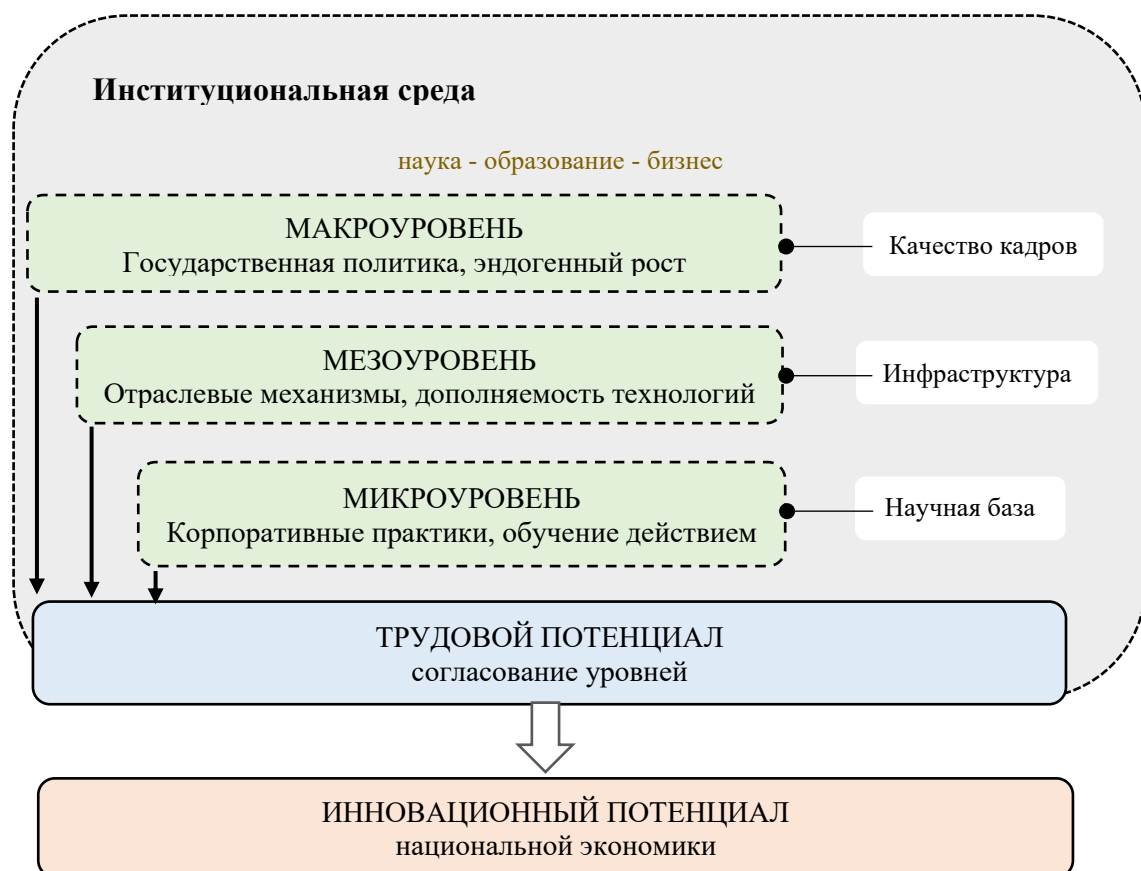


Рисунок 2 – Трёхуровневая модель воспроизводства трудового потенциала в институциональной среде: логика взаимной незаменимости уровней

Figure 2 – Three-Level Model of Labor Potential Reproduction within the Institutional Environment: The Logic of Mutual Irreplaceability of Levels

Источник: составлено авторами

Микроуровень охватывает корпоративные практики управления персоналом, включая непрерывное обучение и развитие цифровых компетенций непосредственно на рабочем месте. Этот уровень реализует механизм обучения в процессе деятельности, описанный Эрроу, и наименее зависим от масштабных бюджетных вложений, что делает его особенно значимым для экономики с ограниченными государственными ресурсами. Именно здесь ротация задач, наставничество и постепенное усложнение операций способны наращивать трудовой потенциал даже при сохраняющейся ограниченности инвестиций в научную базу - ту составляющую инновационного потенциала, которая в Таджикистане развита слабее всего.

Ключевой методологический тезис состоит в том, что ни один из трёх уровней не может компенсировать провалы двух остальных: масштабные инвестиции в образование на макроуровне не дадут эффекта, если отрасли не формируют встречный спрос на новые компетенции, а грамотная кадровая политика отдельного предприятия не восполнит пробелы, накопленные всей

системой образования. Именно эту логику взаимной незаменимости уровней отражает нижняя часть рисунка 2: трудовой потенциал формируется не суммированием, а согласованием трёх уровней, и только на этом условии он конвертируется в прирост инновационного потенциала национальной экономики в целом.

Заключение (Conclusions)

Проведённый анализ показывает, что теоретическое осмысление взаимосвязи трудового и инновационного потенциала национальной экономики за последние десятилетия сместилось от вопроса «создаёт ли технологический прогресс больше рабочих мест, чем уничтожает» к более тонкому вопросу - при каких институциональных условиях технологии дополняют, а не замещают труд работника. Рассмотренные концепции дополняемости, эндогенного роста и обучения в процессе деятельности описывают разные грани одного и того же явления: трудовой потенциал не сводится к численности занятых или к их формальной квалификации, а выступает тем звеном, через которое остальные компоненты инновационного потенциала - научно-исследовательская база, технологическая инфраструктура, институциональная среда - вообще получают возможность конвертироваться в реальный экономический результат.

Предложенная трёхуровневая модель сводит эти разрозненные теоретические позиции в единую схему, где макроуровень отвечает за качество кадров как таковое, мезоуровень - за то, находит ли технологическая инфраструктура подготовленного работника, а микроуровень - за накопление практического опыта там, где инвестиции в научно-исследовательскую базу остаются ограниченными. Для Республики Таджикистан, где темпы расширения цифровой инфраструктуры устойчиво опережают темпы адаптации системы подготовки кадров, этот теоретический сдвиг имеет непосредственное практическое значение: без целенаправленной, опережающей политики воспроизводства трудового потенциала на всех трёх уровнях растущая доступность цифровых технологий рискует реализоваться по сценарию замещения, а не дополняемости труда, что противоречит заявленным в стратегических документах страны целям инновационного развития.

Практический вывод из проведённого анализа состоит в том, что ни одна из мер - расширение доступа к интернету, увеличение бюджета вузов или отдельные программы переподготовки на предприятиях - не даёт устойчивого эффекта в отрыве от остальных. Инновационный потенциал национальной экономики Таджикистана наращивается не суммой изолированных инициатив, а согласованностью макроэкономической образовательной политики, отраслевых механизмов внедрения технологий и корпоративных практик непрерывного обучения. Именно в этой согласованности, а не в объёме отдельно взятых вложений, заключается ближайший резерв инновационного развития страны.

Рецензент: Ғозилҳанов Ҷ.О. - қ.э.н., доцент қафедры эҷомиқесқой теори и мировой эҷомиқи ҒПҚСУ.

Литература

1. Азимова, М. Т. Стратегия формирования «зелёных» трудовых ресурсов в Республике Таджикистан / М. Т. Азимова // Устойчивое развитие и зелёная экономика. - 2025. - Т. 1, № 2(2). - С. 62-71. - EDN CNCIUV.
2. Комилов С.Дж. Теория инновационного развития. /С.Дж. Комилов. Монография. – Душанбе: «Шарки озод», 2019. – 264с.
3. Мукимова, Н. Р. Инновационное развитие человеческого потенциала в условиях цифровой экономики Н.Р. Мукимова / Н. Р. Мукимова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 4(56). – С. 75-84. – EDN XINGKU.
4. Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года [Текст]. - Душанбе: Шарки озод. - 2016. - 121с.
5. Образование в Республике Таджикистан: статистический сборник. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан [Текст]. - Душанбе, 2025. - 96 с.
6. Раджабов, Р. К. Интеграция науки, образования и бизнеса - новая парадигма формирования экономики инноваций в Республике Таджикистан / Р. К. Раджабов, Б. Х. Нурдинов // Экономика Таджикистана. – 2020. – № S4-1. – С. 24-28. – EDN SUBLTS.
7. Рынок труда в Республике Таджикистан. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан [Текст]. - Душанбе, 2025. - 327 с.

8. Статистический ежегодник Республики Таджикистан 2025 г. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан [Текст]. - Душанбе: Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан, 2025. - 442 с.
9. Acemoglu, D. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets / D. Acemoglu, P. Restrepo // *Journal of Political Economy*. - 2020. - Vol. 128, No. 6. - P. 2188-2244.
10. Arrow, K. J. The Economic Implications of Learning by Doing / K. J. Arrow // *The Review of Economic Studies*. - Oxford : Oxford University Press, 1962. - Vol. 29, No. 3. - P. 155-173. - URL: <https://www.jstor.org/stable/2295952> (дата обращения: 04.06.2026).
11. Brynjolfsson, E. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies / E. Brynjolfsson, A. McAfee. - New York : W. W. Norton & Company, 2014. - 320 p.
12. European Commission. Information and communications technology (ICT) graduates as a share of total graduates in Central and Eastern Europe (CEE) in 2022, by country [Электронный ресурс] // *Statista*. - 2024. - URL: <https://www.statista.com/statistics/1551616/cee-share-of-ict-graduates-by-country/> (дата обращения: 01.06.2026).
13. Lucas, R. E. On the Mechanics of Economic Development / R. E. Lucas // *Journal of Monetary Economics*. - 1988. - Vol. 22, No. 1. - P. 3-42.
14. Romer, P. M. Endogenous Technological Change / P. M. Romer // *The Journal of Political Economy*. - 1990. - Vol. 98, No. 5. - P. S71-S102.
15. World Development Indicators Databank. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://databank.worldbank.org>

Reference

1. Azimova, M.T. Strategy for the Formation of "Green" Labor Resources in the Republic of Tajikistan. *Sustainable Development and Green Economy*, 2025, Vol. 1, No. 2(2), pp. 62-71. EDN: CNCIUV.
2. Komilov, S.J. *Theory of Innovative Development*: Monograph. Dushanbe: Sharqi Ozod, 2019. - 264 p.
3. Mukimova, N.R. Innovative Development of Human Potential in the Digital Economy. *Polytechnic Bulletin. Series: Intellect. Innovation. Investment*, 2021, No. 4(56), pp. 75-84. (In Russian). EDN: XINGKU.
4. *National Development Strategy of the Republic of Tajikistan for the Period up to 2030*. Dushanbe: Sharqi Ozod, 2016. - 121 p.
5. *Education in the Republic of Tajikistan*: Statistical Compendium. Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. Dushanbe, 2025. - 96 p.
6. Radjabov, R.K., Nurdinov, B.Kh. Integration of Science, Education and Business as a New Paradigm for Building an Innovation Economy in the Republic of Tajikistan. *Economy of Tajikistan*, 2020, No. S4-1, pp. 24-28. EDN: SUBLTS.
7. *Labor Market in the Republic of Tajikistan*. Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. Dushanbe, 2025. - 327 p.
8. *Statistical Yearbook of the Republic of Tajikistan 2025*. Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. Dushanbe: Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan, 2025. - 442 p.
9. Acemoglu, D., Restrepo, P. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. *Journal of Political Economy*, 2020, Vol. 128, No. 6, pp. 2188-2244.
10. Arrow, K.J. The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economic Studies*. Oxford: Oxford University Press, 1962, Vol. 29, No. 3, pp. 155-173. Available at: <https://www.jstor.org/stable/2295952> (accessed: 04.06.2026).
11. Brynjolfsson, E., McAfee, A. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: W. W. Norton & Company, 2014. 320 p.
12. European Commission. Information and Communications Technology (ICT) Graduates as a Share of Total Graduates in Central and Eastern Europe (CEE) in 2022, by Country. *Statista*, 2024. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1551616/cee-share-of-ict-graduates-by-country/> (accessed: 01.06.2026).
13. Lucas, R.E. On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 1988, Vol. 22, No. 1, pp. 3-42.
14. Romer, P.M. Endogenous Technological Change. *The Journal of Political Economy*, 1990, Vol. 98, No. 5, pp. S71-S102.
15. *World Development Indicators Databank*. Available at: <http://databank.worldbank.org>

Сведения об авторах:

Мукимова Наргис Рустамовна, доктор экономических наук, доцент, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3778-6241>. E-mail: mnargis@yandex.ru.

Назарзода Аваз Абдуназар, старший преподаватель кафедры «Учёт, анализ и аудит», соискатель кафедры экономической теории и мировой экономики, Российско-Таджикский (Славянский) университет. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2225-5399>. E-mail: avaz_mamatkulov@mail.ru.

Маълумот оид ба муаллифон:

Мукимова Наргис Рустамовна, доктори илмҳои иқтисодӣ, дотсент, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3778-6241>. E-mail: mnargis@yandex.ru.

Назарзода Аваз Абдуназар, омӯзгори калони кафедраи "Ҳисобгирӣ, таҳлил ва аудит", докталаби кафедраи назарияи иқтисодӣ ва иқтисоди ҷаҳонӣ, Донишгоҳи (Славянии) Россия ва Тоҷикистон. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2225-5399>. E-mail: avaz_mamatkulov@mail.ru.

Information about the authors:

Nargis R. Mukimova, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3778-6241>. E-mail: mnargis@yandex.ru.

Avaz A. Nazarzoda, Senior Lecturer, Department of Accounting, Analysis and Audit; postgraduate researcher, Department of Economic Theory and World Economy, Russian-Tajik (Slavonic) University. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2225-5399>. E-mail: avaz_mamatkulov@mail.ru.

ТАЪМИНИ АМНИЯТИ ОБИЮ ЭНЕРГЕТИКИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН: ВАЗЪИ ҲОЗИРА ВА ДУРНАМОИ ПЕШРАФТ

М.Ч. Буриева¹, С.Ҳ. Ҳасанзода²

¹ Донишгоҳи давлатии молия ва иқтисоди Тоҷикистон, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

² Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола таъмини амнияти обию энергетикӣи Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳамчун самти муҳими рушди иқтисоди миллӣ мавриди омӯзиш қарор гирифтааст. Таъмини амнияти обию энергетикӣ ба яке аз самтҳои асосӣ ва ҳадафҳои стратегии давлат ба шумор рафта иқтисодии энергетикӣи кишварро ташкил медиҳад. Аз ин лиҳоз, таъмини амнияти энергетикӣ ба яке аз масъалаҳои рӯзмарра гашта боиси фаъолияти аҳолии кишвар гардидааст. Афзоиш ёфтани аҳолии кишвар ва баланд гардидани ҳарорат дар қураи замин барои ҳаёти одамон боиси мураккаб шудани мушкилоти ҳаҷонӣ дар тағйирёбии иқлим аст. Таъмини амнияти обию энергетикӣ дар ҷумҳурии масъалаи калидии давлат ба шумор рафта, таҳлили нишондиҳандаҳои ҳозира ва дурнамои пешрафт барои оқилона истифодабарии механизми захираҳои обию энергетикӣ ҳамчун ҷузъи асосии иқтисоди миллӣ ба ҳисоб меравад. Дар шароити муносири рушди иқтисоди ҳаҷонӣ масъалаи таъмини амнияти обию энергетикӣ ба яке аз самтҳои асосии сиёсати давлатӣ на танҳо дар сатҳи локалӣ, балки дар сатҳи глобалӣ ба ҳисоб меравад. Ин масъала барои Ҷумҳурии Тоҷикистон аҳамияти махсус дошта зеро тақрибан 98 ғоизи истеҳсоли неруи барқ дар кишвар ба захираҳои обӣ ва неруғоҳҳои барқи обӣ вобаста мебошад.

Калидвожаҳо: амният, энергетика, пешрафт, захира, механизм, озӯқаворӣ, миллӣ, маҳаллӣ, тақмил, иқтисодӣ, идорақунӣ, тақкилӣ, истеҳсол, истеъмол, муқаммалгардонӣ, тағйирёбии иқлим, байналмилалӣ, гидроэнергетика.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОДНОЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

М.Ч. Буриева¹, С.Х. Ҳасанзода²

¹ Таджикский государственный финансово – экономический университет г. Душанбе,

Республика Таджикистан

² Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе,

Республика Таджикистан

В статье рассматривается вопрос повышения водно-энергетической безопасности в Республике Таджикистан как важное и фундаментальное направление. Обеспечение водно-энергетической безопасности является одной из главных стратегических целей государства и формирует энергетический потенциал страны. В этой связи обеспечение энергетической безопасности стало одним из наиболее актуальных вопросов и движущей силой деятельности населения страны. Население страны растет, технологии оказывают влияние на жизнь людей, а глобальные проблемы, такие как изменение климата, становятся все более сложными. Обеспечение водно-энергетической безопасности в республике является ключевым вопросом для государства. Анализ текущих показателей и перспектив прогресса рассматривается как ключевой вопрос рационального использования водных и энергетических ресурсов как важнейшего компонента национальной экономики. В современных условиях глобального экономического развития вопрос обеспечения водной и энергетической безопасности стал одним из главных направлений государственной политики и стратегических целей развития национальной экономики. Этот вопрос имеет особое значение для Республики Таджикистан, поскольку примерно 98 процентов производства электроэнергии в стране зависит от водных ресурсов и гидрорезервуаров.

Ключевые слова: безопасность, энергия, прогресс, ресурс, механизм, продовольствие, национальный, местный, улучшение, экономический, управление, организационный, производство, потребление, улучшение, изменение климата, международный, гидроэнергетика.

ENSURING WATER AND ENERGY SECURITY IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN: CURRENT STATUS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

M.Ch. Burieva¹, S.Kh. Hasanzoda²

¹ Tajik State University of Finance and Economics, Dushanbe, Republic of Tajikistan

² Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This article examines the issue of improving water and energy security in the Republic of Tajikistan as an important and fundamental priority. Ensuring water and energy security is one of the state's key strategic goals and shapes the country's energy potential. Therefore, energy security has become one of the most pressing issues and a driving force for the country's population. The country's population is growing, technology is impacting people's lives, and global challenges such as climate change are becoming increasingly complex. Ensuring water and energy security in the country is a key issue for the state. An analysis of current indicators and prospects for progress is considered a key issue in the rational use of water and energy resources as a crucial component of the national economy. In the current conditions of global economic development, the issue of ensuring water and energy security has become one of the main directions of state policy and strategic goals for the development of the national economy. This issue is of particular importance for the Republic of Tajikistan, as approximately 98 percent of the country's electricity production depends on water resources and hydroelectric power plants.

Keywords: security, energy, progress, resource, mechanism, food, national, local, improvement, economic, management, organizational, production, consumption, enhancement, climate change, international, hydropower.

Муқаддима (Introduction)

Дар шароити тағйирёбии глобалӣи иқлим, афзоиши аҳоли ва рушди босуръати иқтисодӣи масъалаи таъмини амнияти захираҳои обию энергетикӣ, на танҳо ба яке аз самтҳои иқтисодӣ

илтимой, балки ҳамчун самти меҳварии сиёсати давлатӣ ҳисобида мешавад. Захираҳои обию энергетикӣ на танҳо омили рушди иқтисодӣ, балки асоси амнияти миллӣ, иҷтимоӣ ва экологӣ низ мебошанд. Аз ин рӯ, инкишоф ва рушди таъмини амнияти обию энергетикӣ, яке аз масъалаи муҳимму, рӯзмарра буда, дар замони муосир аҳаммияти назариявӣ ва амалии хешро аз даст наводааст.

Масъалаи мазкурро ба назари эътибор гирифта, Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон дар Паёми солонаи худ (аз он ҷумла аз 16.12.2025с.) қайд намуданд, ки “ҳаҷми истеҳсоли неруи барқ дар кишвар 7 миллиард килловатт – соат ё 40 фоиз зиёд гардида, аз 17,2 миллиард килловатт – соати соли 2015 ба 24,2 миллиард килловатт – соат дар соли 2025 расонида шуд» [1].

Дар замони муосир мафҳуми амнияти байналмилалӣ дорои намудҳои гуногуни амнияти ҳарбӣ, сиёсӣ, озуқаворӣ, экологӣ, кайҳонӣ, иттилоотӣ аз ҷумла энергетикӣ мебошад. Айни замон, тафсирҳои сершумори мафҳуми амнияти энергетикӣ мавҷуданд. Бояд қайд намуд, ки амнияти энергетикӣ дар рушди иқтисодӣ ва иҷтимоии мамлакат нақши калидиро мебозад.

Бояд қайд кард, ки амнияти энергетикӣ имрӯз як мафҳуми хеле маъмул аст, ки дорои тафсирҳои гуногун ва мухталиф мебошад. Аз ин рӯ, дар бораи мафҳуми “амнияти энергетикӣ” ақидаҳо ва таърифҳои гуногун мавҷуданд. Дар маънои васеъ, амнияти энергетикӣ ҳамчун ҳадафи стратегии давлатӣ, ки барои таъмини ҳама намуди захираҳои асоси аз ҷониби давлат идора карда мешавад.

Дар сарчашмаҳои Ғарб, амнияти энергетикӣ дар аксар вақт мушкилоти берунаи энергетикӣ ва натиҷаи таъмини сарчашмаҳои кафолатноки энергетикӣ дар дохил ва хориҷи кишвар (амнияти таъминот) фаҳмида мешавад. Маҳз дар ҳамин замина “амнияти энергетикӣ” дар як қатор асарҳои илмии амрикоӣ, ба монанди монографияи Патрик Клосон “Энергетика ва амнияти миллӣ дар асри XXI” ва асари дастҷамъонаи “Энергетика ва амният ба сӯи стратегии нави сиёсати хориҷӣ”, ки аз ҷониби Д. Калика ва Д. Голдвин таҳрир шудааст, тафсир карда мешавад [2]. Дар ин робита, бо истифода аз арзёбиҳо ва муқаррароти бунёдии марбут ба мушкилоти мавриди омӯзиш ва умумиятҳои таърифҳои амнияти энергетикӣ, ки дар адабиёти илмии муосир оварда шудаанд, тафсири мукамалтари мафҳумҳои «амнияти оби ва энергетикӣ» пешниҳод карда мешавад [3].

Таъмини амнияти обию энергетикӣ яке аз ҳадафҳои стратегии Тоҷикистон ба ҳисоб рафта, барои таъмини кишоварзӣ, саноат, аҳоли ва истеҳсол намудани қувваи барқ аҳаммияти калидӣ дорад. Ҷумҳурии Тоҷикистон ба истеҳсоли неругоҳҳои барқӣ обӣ такя мекунад, ки идоракунии самаранокии захираҳои обӣ бевосита аз таъмини амнияти энергетикӣ вобаста мебошад.

Дар адабиёти илмӣ механизми таъмини амнияти обию энергетикӣ аз нуқтаи назари якчанд назария шарҳ дода мешавад:

1. Назарияи рушди устувор. Тибқи ин назария, тавре ба роҳ монда мешавад, истифодаи он талаботи наслҳои ҳозираро қонеъ намуда, имконияти оқилона истифода намудани наслҳои ояндаро маҳдуд насозад. Дар ин замина захираҳои обию энергетикӣ ҳамчун қисми таркибии рушди устувори иқтисодӣ ва ҳифзи муҳити зист арзёбӣ мегарданд.

2. Назарияи амнияти энергетикӣ. Ин назария ба таъмини дастрасии муттасил, боэътимод ва аз ғяхати иқтисодӣ самаранок ба захираҳои энергетикӣ асос ёфтааст. Дар шароити муосир амнияти энергетикӣ бо амнияти обӣ алоқаманд буда, қисми зиёди истеҳсоли нерӯи барқ аз захираҳои обӣ вобастагӣ дорад, ки чунин намуди истеҳсоли қувваи барқро гидроэнергетика меноманд.

3. Концепсияи амнияти захираҳои обӣ. Тибқи ин концепсия, амнияти обӣ ҳолатест, ки дар он аҳоли, иқтисодиёт ва низомии экологӣ (экосистема) бо оби сифатнок ва кофӣ таъмин гардида, ҳавфҳои вобаста ба камбудӣ, ифлосшавӣ ва офатҳои марбут ба захираҳои табиӣ танзим карда мешавад.

Мавод ва усулҳои тадқиқот

Аз нигоҳи мо, барои мукамалгардонии амнияти обию энергетикӣ ҷумҳурӣ як якчанд омилҳои таъсири худро мерасонад, ки миёни онҳо ҳолатҳои зеринро метавон ҷудо намуд:

• **тағйирёбии иқлим ва ҳошии захираҳои об дар баъзе давраҳо** – натиҷаи вайрон шудани тавозуни байни ташаккул ва истеъмоли захираҳои обӣ мебошад. Дар шароити муосир

тағйирёбии иқлим ин баланд гардидани ҳарорати ҳаво, афзоиш ёфтани бухоршавӣ, кам шудани боришот, обшавии барфу пирахҳо ба амал меояд. Дар фаслҳои муайяни сол, давраҳои хушксолӣ яъне камбориш шудан оби кӯлҳо, дарёҳо ва обанборҳо паст гардида, дастраси бо захираҳои обӣ маҳдуд мешавад;

• **обшавии пирахҳо ва тағйирёбии ҷараёни дарёҳо** – яке аз масъалаҳои асосии тағйирёбии иқлим арзёбӣ гардида, зарурати татбиқи низоми самараноки мониторинги пирахҳо, идоракунии ҳамгироии захираҳои обӣ ва мутобиқшавӣ ба тағйирёбии иқлимиро ба миён меояд. Ин андешаҳо барои оқилона истифода намудани захираҳои обӣ ва таъмини озуқаворӣ мамлакат аҳаммияти стратегӣ дорад;

• **обхези ва дигар офатҳои табиӣ** – ин падидаҳои мураккаби табиӣ буда, ки дар натиҷаи таъсири омилҳои иқлимӣ, гидрометеорологӣ ва геологӣ ба вучуд омада, ба муҳити зист, иқтисодиёт ва амнияти иҷтимоӣ-иқтисодӣ мамлакатҳо таъсири назаррас мерасонанд;

• **талафоти об дар шабакаҳои ирригатсионӣ** – ба коҳиш ёфтани ҳаҷми оби интиқолшаванда аз манбаи об то майдонҳои кишоварзӣ дар натиҷаи таъсири омилҳои табиӣ, техникӣ ва ташкиливу идоракунӣ гуфта мешавад. Аз ин лиҳоз, дар марҳилаи муосир, оқилона истифода намудани захираҳои обӣ ба амал омада, самаранокии фаъолияти низоми обёриро паст менамояд;

• **низоми баланди гидроэнергетика** – яке аз масъалаи муҳимми сохтори энергетикӣ давлат мебошад, ки самти муҳими истехсоли нерӯи барқ ва истифодаи захираҳои обӣ асос ёфтааст. Ин вобастагӣ аз як тараф метавонад барои инкишофи иқтисоди «сабз» имконият фароҳам оварад, аз тарафи дигар, низоми энергетикӣ кишварро ба тағйирёбии иқлим осебпазир гардонад;

• **зиёдшавии аҳоли ба иқтисодиёт ва нерӯи барқ** – аз ин лиҳоз зиёд шудани эҳтиёҷоти аҳоли ба захираҳои обию энергетикӣ буда, дар натиҷаи зиёд шудани аҳоли, беҳтар намудани зиндагӣ, рушд намудани истехсоли нерӯи барқ ба вучуд меояд. Ин раванд барои оқилона истифода ва идоракунии самаранокии захираҳои мавҷударо талаб менамояд.

Масъалаи истифодаи самараноки захираҳои об барои Ҷумҳурии Тоҷикистон хусусияти минтақавӣ низ дорад. Қисми зиёди дарёҳои асосии Осиёи Марказӣ дар минтақаҳои кӯҳии Тоҷикистон ҷойгир шудааст. Аз ин рӯ, ҳамкориҳои кишварҳои минтақа дар идоракунии захираҳои обию энергетикӣ аҳаммияти калон дорад.

Гидроэнергетика асоси низоми энергетикӣ Тоҷикистон мебошад. Афзалият дар он аст, ки манбаи барқдоршаванда буда, метавонад ҳам талаботи дохилӣ ба нерӯи барқро қонеъ созад ва ҳам барои содироти нерӯи барқ замина фароҳам оварад [4].

Яке аз муҳимтарин лоиҳаҳо дар ин самт НБО-и Роғун мебошад. Тибқи маълумоти Бонки Ҷаҳонӣ, иқтидори лоиҳавии он 3 780 МВт буда, истехсоли солонаи нерӯи барқи он дар оянда тақрибан 14 400 ГВт.соат пешбинӣ шудааст. Лоиҳа барои коҳиш додани норасоии нерӯи барқ дар фасли зимистон, рушди иқтисодӣ ва таҳкими бозори минтақавии энергетикӣ дар шароити ҳозира ва дар ояндаи наздик аҳаммияти калон дорад [5].

Чи тавре, ки маълум аст, дар шароити муосири рушди иқтисоди ҷаҳонӣ масъалаи таъмини амнияти обию энергетикӣ ба яке аз самтҳои асосии сиёсати давлатӣ ва ҳадафҳои стратегии рушди иқтисоди миллӣ табдил ёфтааст. Тағйирёбии иқлим, афзоиши талабот ба об ва энергия, рушди босуръати саноат ва зиёдшавии аҳоли зарурати ташаккули механизмҳои муосир ва инноватсионии идоракунии захираҳои табииро ба миён овардааст [6]. Равишҳои асосӣ барои рушд намудани механизмҳои таъмини амнияти обию энергетикӣ ва ҳадафҳои стратегии мамлакат, дуруст ба роҳ мондани як қатор самтҳои асосиро тақозо менамояд. Дар ин замина, омӯзиши ҷанбаҳои назариявии механизми таъмини амнияти захираҳои обию энергетикӣ ҳамчун заминаи методологӣ таҳияи сиёсати давлатӣ ва стратегияҳои рушди устувор аҳаммияти калидиро касб мекунад. Таърибаҳо нишон медиҳад, ки барои таъмини ҳаҷми истехсол, коркард ва механизмҳои нигоҳдори афзоиши як қатор нишондиҳандаҳои иқтисодӣ таваҷҷуҳи бештар мегардад.

Аз ин лиҳоз мо чунин мешуморем, ки таъмини амнияти захираҳои обию энергетикӣ, яке аз сарчашмаҳои асосии бойгариҳои кишвар ба ҳисоб меравад. Аз ин лиҳоз, захираҳои обию энергетикӣ принципҳои нави ҳудро барои муносибатҳои байнидавлатӣ ғорӣ менамояд. Дар Конфронси

байналмилалӣ оид ба ҳамкориҳои минтақавӣ дар ҳавзаи дарёҳои сарҳадгузар, ки 30 майи соли 2005 ва Конфронси байналмилалӣ сатҳи баланд оиди Даҳсолаи байналмилалӣ «Об барои рушди устувор, солҳои 2018-2028», ки 6 июни соли 2022 дар шаҳри Душанбе баргузор гардида буд, Пешвои миллат, Президенти мамлакат муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон бомаврид қайд намудаанд, ки ҳалли пурсамар ва судманди масоили марбут ба захираҳои обӣ дар маънои васеъ ва ҷаҳонӣ он таъмини амнияти сулҳ, рушди кишварҳо мебошад. Бояд онро мо ҳамчун манбаи низоъ, балки муҳаррики ҳамкорӣ арзёбӣ намоем. Дар ин хусус созишнома бораи обҳои байналмилалӣ метавонад ҳамчун омили сулҳ, ва ҳамсоиягии нек барои рушди мамлакатҳои Осиёи Марказӣ гардад.

Дар шароити муосир баланд бардоштани механизми таъмини амнияти обию энергетикӣ ва истеҳсолоти интенсивии соҳаҳои воқеӣ, дар тағйир додани таъмин ва рушд намудани ҳадафҳои стратегии мамлакат равишҳои муассири илмӣ ва таҳқиқотиро талаб менамояд. Аз ин лиҳоз, ба вуқӯ омадани бухронҳои шадид ва дигаргун сохтани вазъи энергетикӣ ҷаҳонӣ, рушд ва такмили муносибатҳои рақобатпазирӣ дар байни мамлакатҳо бо Ҷумҳурии Тоҷикистон муносибати иқтисодӣ тиҷорати пайдо намудааст. Ин ҳолат тақозо менамояд, ки мукамалгардонии таъмини механизмҳои обию энергетикӣ бознигарӣ карда шавад [7].

Механизми таъмини беҳатариҳои обию энергетикӣ маҷмуи шаклҳо, методҳо, самтҳо ва институтҳои ҳуқуқӣ, иқтисодӣ мебошад, ки барои оқилона истифода намудан, баланд бардоштани низоми захираҳои энергетикӣ равона карда шудааст. Ҳадафи асосии ин механизм таъмин намудани фаъолияти устувори соҳаи обу энергетика, пешгирии хавфҳо ва қонеъ намудани талаботи аҳоли ва иқтисодиёт ба захираҳои обию энергетикӣ мебошад.

Ташаккул ва рушди ҳар як кишвар аз фаъолияти иқтисодӣ ва рушди устувори он, пеш аз ҳама аз захираҳои обию энергетикӣ вобаста мебошад. Афзоиши доимии истифодаи захираҳои энергетикӣ технологияи нави муосири истеҳсолӣ таъмин менамояд [8]. Рушди инноватсионии иқтисодӣ барои таъмини босуръат ва бозътимоди нерӯи барқро барои қисмҳои гуногуни истеъмолкунандагон талаб карда дар таъмин намудани фаъолияти рушди нерӯи барқ вазифаи калиди мебошад. Дар ҷадвал динамикаи (тағйирёбӣ)-и истеҳсол, содирот ва воридоти нерӯи барқ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, млн. кВт. соат оварда шудааст (ҷадв. 1).

Ҷадвали 1 – Динамикаи (тағйирёбӣ) – и истеҳсол, содирот ва воридоти нерӯи барқ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, млн. кВт. соат

Table 1 – Dynamics (changes) of electricity production, export and import in the Republic of Tajikistan, million kWh

Солҳо	Истеҳсол	Содирот	Воридот
2018	19742	2945	559
2019	20677	3175	281
2020	19771	1870	379
2021	20624	3307	883
2022	21400	3343	797
2023	21861	3462	945
2024	22428	3907	1618
2018 / 2024	2686	962	1059

Сарчашма: Агентии оморӣ назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон. Оморӣ солонаи Ҷумҳурии Тоҷикистон 2025. – с 270.

Маълумоти ҷадвал динамикаи истеҳсол, содир намудан ва ворид кардани нерӯи барқро дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар солҳои 2018–2024 инъикос намуда, тамоюлҳои асосии рушди соҳаи электроэнергетикаи мамлакатро дар бозори минтақавӣ нерӯи барқ нишон медиҳад. Таҳлили нишондиҳандаҳои ҷадвал собит менамояд, ки дар давраи таҳқиқшаванда ҳаҷми истеҳсоли нерӯи барқ ва ҳаҷми содироти он тамоюли афзоиш дошта, ҳамзамон воридоти нерӯи барқ низ вобаста ба хусусиятҳои мавсимии низоми энергетикӣ тағйир ёфта истодааст.

Аз рӯи маълумоти ҷадвал, ҳаҷми истеҳсоли нерӯи барқ аз 19 742 млн. кВт. соат дар соли 2018 то 22 428 млн. кВт. соат дар соли 2024 расида, дар маҷмуъ 2 686 млн. кВт. соат ё 13,6 фоиз афзоиш ёфта истодааст. Ин тамоюл натиҷаи афзоиши иқтидорҳои истеҳсолӣ, таҷдиду навсозии нерӯгоҳҳои амалкунанда, инчунин тадриҷан ба истифода додани иқтидорҳои нави энергетикӣ

мебошад. Бо вучуди ин, дар соли 2020 коҳиши муваққати истеҳсол то 19 771 млн. кВт. соат ба қайд гирифта шудааст, ки эҳтимолан бо таъсири омилҳои гидрологӣ, тағйирёбии захираҳои обӣ ва маҳдуд гардидани фаъолияти иқтисодӣ дар давраи пандемияи COVID-19 вобаста мебошад. Аз соли 2021 инҷониб истеҳсол дубора тамоюли устувори афзоишро касб намуда, дар соли 2024 ба баландтарин нишондиҳандаи давраи таҳлилшуда расидааст.

Дар баробари афзоиши истеҳсол, ҳаҷми содироти нерӯи барқ низ тамоюли мусбатро нишон медиҳад. Агар дар соли 2018 содироти нерӯи барқ 2 945 млн. кВт. соат – ро ташкил намуда, пас дар соли 2024 ин маълумотҳо ба 3 907 млн. кВт. соат расидааст, ки назар ба соли 2018 962 млн. кВт. соат ё тақрибан 32,7 фоиз зиёд мебошад. Ҳарчанд дар соли 2020 ҳаҷми содирот то 1 870 млн. кВт. соат коҳиш ёфтааст, аз соли 2021 сар карда афзоиши устувори он мушоҳида мешавад. Ин раванд аз густариши ҳамкориҳои энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон бо кишварҳои минтақа, баланд гардидани талабот ба нерӯи барқӣ тоҷик дар бозорҳои хориҷӣ ва беҳтар гардидани имкониятҳои интиқоли барқ тавассути шабакаҳои байнидавлатӣ шаҳодат медиҳад.

Дар мавриди воридоти нерӯи барқ, маълумоти ҷадвал тағйироти назаррасро инъикос менамояд. Ҳаҷми воридот аз 559 млн. кВт. соат дар соли 2018 то 1 618 млн. кВт. соат назар соли 2024 рушд намуда, дар маҷмӯъ 1 059 млн. кВт. соат зиёд шудааст. Бояд таъкид намуд, ки дар соли 2019 воридот ба сатҳи пасттарин (281 млн. кВт. соат) расида бошад ҳам, аз соли 2021 инҷониб тамоюли афзоиши устувор ба назар мерасад. Афзоиши воридотро метавон бо зарурати мувозинати низоми энергетикӣ дар фасли тирамоҳу зимистон, таъмин намудани эътимоднокии фаъолияти шабакаҳои барқӣ ва рушди ҳамгироии энергетикӣ минтақавӣ шарҳ дод.

Муқоисаи нишондиҳандаҳои истеҳсол ва савдои хориҷии нерӯи барқ нишон медиҳад, ки Ҷумҳурии Тоҷикистон дар тамоми давраи таҳлилшаванда мавқеи содиркунандаи софи нерӯи барқро нигоҳ доштааст. Масалан, дар соли 2024 ҳаҷми содирот (3 907 млн. кВт.соат) нисбат ба воридот (1 618 млн. кВт. соат) 2,4 маротиба зиёд буда, тавозуни мусбати савдои хориҷии нерӯи барқро таъмин намудааст. Ин ҳолат аз мавҷудияти иқтисодии назарраси содиротии низоми энергетикӣ кишвар ва рақобатпазирии нерӯи барқӣ истеҳсолшаванда дар бозорҳои минтақавӣ гувоҳӣ медиҳад.

Дар охир, таҳлили маълумот нишон медиҳад, ки дар солҳои 2018 –2024 инкишофи энергетикаи ҷумҳурӣ бо рушди истеҳсоли қувваи барқ, иқтисоди содиротӣ ва ҳамкориҳои энергетикӣ минтақавӣ ба роҳ монда мешавад. Аз ин лиҳоз, зиёд шудани ҳаҷми воридоти қувваи барқ солҳои охир нишон медиҳад, ки масъалаи таъмини амният истеҳсол ва истеъмоли нерӯи барқ ҳанӯз ҳам аҳамияти стратегӣ худро гум накардааст. Аз ин рӯ, барои мукаммалгардонии беҳтариҳои энергетикӣ ва баланд бардоштани самаранокии фаъолияти соҳа зарурияти иқтисоди нави истеҳсолӣ, пеш аз ҳама нерӯгоҳҳои обӣ барқӣ ва сарчашмаҳои барқароршавандаи захираҳои обӣ ва энергетикӣ истифода дода шаванд. Ин тадбирҳо метавонанд мавқеи асосии ҷумҳуриро яке аз содиркунандагони истеҳсоли энергияи «сабз» дар минтақа дар ояндаи наздик боз ҳам таҳким бахшанд (ҷадв. 2).

Ҷадвали 2 –Дурнамои талаботи маҷмӯӣ ба нерӯи барқ дар сатҳи истеҳсол (ГВт.с)

Table 2 –Total electricity demand forecast at the production level (GWh)

Талабот	2027	2028	2029	2030	2033	2036	2040
Минтақаи шимол	16,625	17,049	17,485	17,934	19,364	20,926	23,237
Минтақаи ҷануб	5,815	5,990	6,169	6,354	6,944	7,588	8,540
Ҷамъ	22,441	23,038	23,654	24,288	26,307	28,514	31,777
Афзоиши солоне	1,6%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	2,8%

Сарчашма: Нақшаи васеъсозии истеъсоли нерӯи барқ дар соҳаи электроэнергетика. Душанбе 2022. – с. 7.

Ҷадвали мазкур дурнамои талаботи маҷмӯии нерӯи барқро дар сатҳи истеҳсол барои солҳои 2027–2040 нишон медиҳад. Таҳлили нишондиҳандаҳо аз он шаҳодат медиҳад, ки дар тамоми давраи пешбинишуда талабот ба нерӯи барқ тамоюли рушди устувори афзоишро нигоҳ

дошта, ҳаҷми умумии талабот аз 22 441 ГВт. соат дар соли 2027 то 31 777 ГВт. соат ва дар соли 2040 афзоиш ёфта, дар маҷмӯъ 9 336 ГВт. соат ё тақрибан 41,6 фоиз зиёд мегардад. Ин нишондиҳанда рушди иқтисодӣ, афзоиши аҳоли, васеъ гардидани фаъолияти саноатӣ ва зиёдшавии истеъмоли нерӯи барқро дар соҳаҳои гуногуни иқтисоди миллӣ инъикос менамояд.

Аз рӯи тақсимои минтақавӣ, ҳиссаи асосии талабот ба минтақаи шимол рост меояд. Ҳаҷми талабот дар ин минтақа аз 16 625 ГВт. соат дар соли 2027 то 23 237 ГВт. соат дар соли 2040 мерасад, ки афзоиши мутлақӣ 6 612 ГВт. соат ё тақрибан 39,8 фоизро ташкил медиҳад. Ин ҳолат нишон медиҳад, ки қисми зиёди иқтидорҳои саноатӣ, марказҳои истеҳсоли ва истеъмоли кунандагони бузурги нерӯи барқ дар минтақаи шимол ҷойгир буда, талабот ба таъмини устувори нерӯи барқ дар ин минтақа нисбатан баланд мебошад.

Дар минтақаи ҷануб низ тамоюли мусбати афзоиши талабот мушоҳида мешавад. Ҳаҷми талабот аз 5 815 ГВт. соат дар соли 2027 то 8 540 ГВт. соат дар соли 2040 зиёд шуда, афзоиши мутлақӣ он 2 725 ГВт. соат ё тақрибан 46,9 фоизро ташкил медиҳад. Гарчанде ҳаҷми умумии талабот дар ин минтақа нисбат ба минтақаи шимол камтар буда, суръати рушд намудани он зиёд шуда, инкишофи фаъолият ва беҳтар намудани сатҳи таъмини мардумро бо қувваи барқ инъикос менамояд.

Нишондиҳандаи афзоиши солоне низ тамоюли нисбатан устувор дорад. Дар соли 2027 он 1,6 фоиз буда, аз соли 2028 то соли 2036 дар сатҳи 2,7 фоиз нигоҳ дошта мешавад ва то соли 2040 ба 2,8 фоиз мерасад. Ин нишон медиҳад, ки дурнамои рушди талабот ба нерӯи барқ бо суръати мӯътадил ва пешгӯйшаванда арзёбӣ гардидааст, ки барои банақшагирии иқтидорҳои нави истеҳсоли, рушди шабакаҳои интиқол ва тақсимои нерӯи барқ заминаи мусоид фароҳам меорад.

Дар маҷмӯъ, маълумоти ҷадвал тасдиқ менамояд, ки то соли 2040 талабот ба нерӯи барқ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон мунтазам афзоиш хоҳад ёфт. Аз ин лиҳоз, татбиқи нақшаи нави истеҳсоли нерӯи барқ, навоварии технологияҳои муосир, баланд шудани истифодаи энергия ва иқтидорҳои нави истеҳсоли барои қонеъ намудани талаботи афзоиандаи иқтисодии кишвар аҳаммияти калидӣ дорад.

Дар маҷмӯъ, қайд кардан бомаврид аст, ки Тоҷикистон дорои бузурги захираҳои обию энергетикӣ буда, дар ҷаҳон аз рӯи иқтидори гидроэнергетикӣ мавқеи асосӣ ишғол менамояд. Самтҳои асосии истеҳсоли нерӯи барқи давлат аз ҳисоби неругоҳҳои барқи обӣ истеҳсол гардида, ин соҳа яке аз пояҳои асосии рушди иқтисоди дар таъмини амнияти энергетикӣ ба шумор меравад. Ҳамзамон, қисми зиёди захираҳои оби ҷаъза баҳри Арал дар қаламрави Тоҷикистон ташақкул ёфта, аҳаммияти стратегияи кишварро дар таъмини амнияти оби минтақа боз ҳам баланд мебардорад. Бо вуҷуди ин, таҳлилҳо нишон медиҳад, ки амнияти обию энергетикӣ кишварро ба як қатор таҳдидҳои беруниву дохилӣ рӯ ба рӯ мебошад [9]. Аз ҷумла, тағйирёбии иқлим, обшавии пиряхҳо, тағйирёбии ҷараёни дарёҳо, хушксолӣ, обхезиҳо, талафоти об дар шабакаҳои гуногун рушди устувори нозомии энергетикӣ коҳиш медиҳад. Дар ҷунин шароит, таъмини амнияти обию энергетикӣ муносибати ҳамгиро ва илмӣ асоснокро тақозо менамояд. Самаранокии захираҳои обӣ, навоварии технологияҳои гидротехникӣ, коҳиш додани талафоти об, татбиқи технологияҳои сарфакорона барои обёрӣ, рушди манбаҳои барқароршудаи энергия, диверсификатсияи низоми энергетикӣ ва истифодаи технологияҳои рақамӣ барои мониторинг ва идоракунии захираҳои об аз самтҳои афзалиятноки сиёсати давлатӣ мебошанд [10].

Натиҷаи тадқиқот (*Research result*)

Дар доираи ин тадқиқот самтҳои муҳим мавриди омӯзиш қарор гирифтаанд:

- самаранокии захираҳои обӣ навоварии технологияҳои гидротехникӣ;
- татбиқи технологияҳои сарфакорона барои рушди манбаҳои барқароршудаи энергия;
- диверсификатсияи низоми энергетикӣ ва истифодаи технологияҳои рақамӣ барои мониторинг;
- идоракунии захираҳои обӣ ва самтҳои афзалиятноки сиёсати давлатӣ.

Идомаи татбиқи стратегияҳои миллӣ ва ташаббусҳои байнал-милалӣ Тоҷикистон дар самти ҳифзи пиряхҳо, идоракунии ҳамгирои захираҳои об ва рушди «энергияи сабз» метавонад ба таҳкими мавқеи кишвар дар сатҳи минтақавӣ ва ҷаҳонӣ мусоидат намояд.

Хулоса (Conclusion)

Дар баробари ин, таҳкими ҳамкориҳои минтақавӣ оид ба истифодаи захираҳои транссарҳадии об, ҳамохангсозии манфиатҳои кишварҳои болооб ва поёноб, ҷалби сармоягузориҳои дохилию хориҷӣ ба соҳаи гидроэнергетика ва тақмили заминаҳои ҳуқуқию институтсионалӣ барои истифодаи устувори захираҳои об аҳамияти калидӣ доранд. Ҳамин тавр, таъмини амнияти энергетикӣ яке ҳадафи стратегии Ҷумҳурии Тоҷикистон ба ҳисоб меравад. Дар шароити муосир масъалаи таъмини амнияти обию энергетикӣ яке аз омилҳои асосии иқтисодӣ, иҷтимоӣ ва экологӣ таъдил ёфта истодааст.

Ҳамин тавр, дурнамои таъмини амнияти обию энергетикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ва сатҳи самараноки захираҳои обию гидроэнергетикӣ, татбиқи технологияҳои муосири инноватсионӣ, мутобиқшавӣ ба тағйирёбии иқлим ва густариши ҳамкориҳои байналмилалӣ вобастагии зиҷ дорад. Амалӣ шудан барои таҳкими амнияти обию энергетикӣ ва рушди устувори иқтисодӣ, баланд шудани сатҳи зиндагии аҳоли ва таҳкими амнияти озукаворӣ кишвар мусоидат хоҳад кард.

Муқарриз: Насриддинов Ғ.Ғ. – н.и.у., профессори кафедраи беҳатарии иқтисоди ДДМҶП.

Адабиёт

1. Паёми Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон «Дар бораи самтҳои асосии сиёсати дохили ва хориҷӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон» 16 декабри соли 2025. Душанбе «Шарқи озод», 2025. – 48 с.
2. Агентии омили назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон. Омили солони Ҷумҳурии Тоҷикистон [Захираҳои электронӣ]. - URL: <https://www.stat.tj/> (Санаи муроҷиат 26. 07. 2026). матн. Расм: электронӣ.
3. Нақшаи васеъсозии истеъсоли нерӯи барқ дар соҳаи электроэнергетика. Душанбе 2022. – с.7.
4. Водобеспеченность мирового сельского хозяйства на воду для орошения. // Экономика сельского хозяйства России. - 2017. - №12. - С. 80-89.
5. Данилов-Данильян В.И. Свойства природных вод, определяемые их микроструктурной самоорганизацией / В.И. Данилов – Данильян, О.М. Розенталь // Водные ресурсы. – 2021. - Т. 48, № 2. – с. 173-182.
6. Арифов Х.О. О водных спорах и строительстве больших плотин / Арифов Х.О. // Мелиорация и водные ресурсы: проблемы и пути их решения (Материалы научно – практической конференции, 25 декабря 2010 г.), Душанбе, 2010. - с – 226 с. 69 – 75.
7. <https://www.mewr.tj/?lang=tj> (Санаи муроҷиат 15. 08. 2026). матн. Расм: электронӣ.
8. Исайнов Х.Р. Региональные аспекты обеспечения водно-энергетической безопасности (на материалах стран Центральной Азии) [Текст]: Монография / Х.Р. Исайнов, У.О. Кимсанов. - Душанбе: «Эр Граф», 2020. - с. 221.
9. Ибодуллоев А.Р., Вода – бесценное богатство и источники жизни. Таджикистан передовая страна в решении глобальных водных проблем / Ибодуллоев А. Р – Душанбе, Контраст, 2018. 303 с.
10. Экоэкономика: Как создать экономику, сберегающую планету / Вступ. Сл. В. И. Данилова – Данильяна, Пер. с англ. – М.: Издательство «Весь Мир», 2003. 392 с.

Reference

1. Message of the President of the Republic of Tajikistan, His Excellency Emomali Rahmon “On the main directions of the domestic and foreign policy of the Republic of Tajikistan” December 16, 2025. Dushanbe “Sharqi ozod”, 2025. – 48 p.
2. Statistical Agency under the President of the Republic of Tajikistan. Annual Statistics of the Republic of Tajikistan [Electronic resource]. - URL: <https://www.stat.tj/> (Date of access 26. 07. 2026). text. Image: electronic.
3. Plan for the expansion of electricity production in the electric power sector. Dushanbe 2022. – p.7.
4. Water availability for irrigation in global agriculture. // Economics of Agriculture in Russia. - 2017. - No. 12. - P. 80-89.
5. Danilov-Danilyan V.I. Properties of natural waters determined by their microstructural self-organization / V.I. Danilov - Danilyan, O.M. Rosenthal // Water resources. - 2021. - Vol. 48, No. 2. - pp. 173-182.
6. Arifov H.O. On water disputes and the construction of large dams / Arifov H.O. // Land reclamation and water resources: problems and solutions (Proceedings of the scientific and practical conference, December 25, 2010), Dushanbe, 2010. - p. 226 pp. 69–75.
7. <https://www.mewr.tj/?lang=tj> (Sanai murohiat 15.08.2026). matn. Calculation: electron.
8. Isaynov H.R. Regional aspects of ensuring water and energy security (based on materials from Central Asian countries) [Text]: Monograph / H.R. Isaynov, U.O. Kimsanov. - Dushanbe: “Er Graf”, 2020. - p. 221.
9. Ibodulloev A.R., Water – priceless wealth and sources of life. Tajikistan is a leading country in solving global water problems / Ibodulloev A.R. – Dushanbe, Contrast, 2018. 303 p.
10. Ecoeconomics: How to Create an Economy that Saves the Planet / Introduction by V. I. Danilov-Danilyan, Translated from English. – Moscow: Ves Mir Publishing House, 2003. 392 p.

Маълумот оид ба муаллифон:

Буриева Мастура Чориевна - дотсенти кафедраи беҳатарии иқтисоди Донишгоҳи давлатии молия ва иқтисоди Тоҷикистон burievam@list.ru

Ҳасанзода Сорбон Ҳасан – ассистент кафедры фанҳои ҷомеашиносии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. E-mail: sorbon-2025@mail.ru

Сведения об авторах:

Буриева Мастура Чориевна – доцент кафедры экономической безопасности Таджикский государственный финансово-экономический университет burievam@list.ru

Ҳасанзода Сорбон Ҳасан – ассистент кафедры социологии Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. E-mail: sorbon-2025@mail.ru

Information about the authors:

Mastura Ch. Burieva - Associate Professor of the Department of Economic Security, Tajik State University of Finance and Economics burievam@list.ru

Sorbon H. Hasanzoda - Assistant at the Department of Sociology at the Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. E-mail: sorbon-2025@mail.ru

ТАЪМИНИ ИНСТИТУТСИОНАЛИИ ИДОРАКУНИИ ИННОВАТСИЯҶО ДАР ШАРОИТИ МИНТАҚАҶОИ АГРОСАНОАТӢ

Д.М. Наимов

Донишгоҳи давлатии молия ва иқтисоди Тоҷикистон, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақолаи мазкур масъалаҳои назариявӣ ва амалии таъмини институтсионалии идоракунии инноватсияҳо дар шароити минтақаҳои агросаноатии Ҷумҳурии Тоҷикистон мавриди таҳқиқ қарор гирифтаанд. Дар раванди таҳқиқот механизми идоракунии инноватсияҳо, самтҳои тақмили заминаи меъёрӣ-ҳуқуқии танзими фаъолияти инноватсионӣ ва нақши навовариҳо дар таъмини рушди устувори минтақаҳои агросаноатӣ таҳлил гардидаанд. Дикқати махсус ба нақши ташкилот, муассисаҳои илмӣ-тадқиқотӣ ва муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ, аз ҷумла фаъолияти илмӣ, истеҳсоли ва инноватсионии муассисаҳои Академияи илмҳои кишоварзии Тоҷикистон дар минтақаҳои кишвар, равона шудааст. Фаъолияти ташкилоту муассисаҳои мазкур ҳамчун омили муҳими ташаккули иқтидори инноватсионӣ, рушди таҳқиқоти илмӣ, омода намудани кадрҳои баландихтисос ва таҷқими ҳамкориҳои илм ва истеҳсолот арзёбӣ гардидааст. Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки ташаккули муҳити мусоиди институтсионалӣ, қорӣ намудани технологияҳои рақамӣ ва навовариҳои техникӣ-технологӣ барои баланд бардоштани самаранокӣ ва рақобатпазирии корхонаҳои агросаноатӣ аҳамияти калидӣ дорад. Ҳамзамон, таҷқими ҳамкориҳои судманди ташкилоти хизматрасон бо субъектҳои занҷираи истеҳсолии агросаноатӣ ва густариши дастгирии давлатии фаъолияти инноватсионӣ ҳамчун самтҳои муҳими таъмини рушди устувори иҷтимоию иқтисодии минтақаҳои мамлакат пешниҳод гардидаанд.

Калидвожаҳо: минтақа, комплекси агросаноатӣ, соҳаи кишоварзӣ, инноватсия, муҳити институтсионалӣ, механизмҳои идоракунии, технологияҳои рақамӣ, илм ва истеҳсолот, рушди устувор, самаранокӣ истеҳсолот.

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ В УСЛОВИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ

Д.М. Наимов

Таджикский государственный финансово-экономический университет, г. Душанбе,
Республика Таджикистан

В данной статье исследуются теоретические и практические вопросы институционального обеспечения управления инновациями в условиях агропромышленных регионов Республики Таджикистан. В процессе исследования проанализированы механизм управления инновациями, направления совершенствования нормативно-правовой базы регулирования инновационной деятельности, а также роль инноваций в обеспечении устойчивого развития агропромышленных регионов. Особое внимание уделено роли организаций, научно-исследовательских учреждений и учреждений высшего профессионального образования, в том числе научной, производственной и инновационной деятельности учреждений Академии сельскохозяйственных наук Таджикистана в регионах страны. Деятельность указанных организаций и учреждений рассматривается как важный фактор формирования инновационного потенциала, развития научных исследований, подготовки высококвалифицированных кадров и укрепления взаимовыгодного сотрудничества науки и производства. Результаты исследования показывают, что формирование благоприятной институциональной среды, внедрение цифровых технологий и технико-технологических инноваций имеют ключевое значение для повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий агропромышленного комплекса. Одновременно в качестве важных направлений обеспечения устойчивого социально-экономического развития регионов страны предложены укрепление взаимовыгодного сотрудничества организаций сферы услуг с субъектами производственной цепочки агропромышленного комплекса и расширение государственной поддержки инновационной деятельности.

Ключевые слова: регион, агропромышленные регионы, сельское хозяйство, инновации, институциональная среда, механизмы управления, цифровые технологии, наука и производство, устойчивое развитие, эффективность производства.

INSTITUTIONAL SUPPORT FOR INNOVATION MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF AGRO-INDUSTRIAL REGIONS

D.M. Naimov

Tajik state university of finance and economics, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This article examines the theoretical and practical aspects of institutional support for innovation management in the agro-industrial regions of the Republic of Tajikistan. The study analyzes the mechanism of innovation management, the main directions for improving the regulatory and legal framework governing innovation activities, and the role of innovations in ensuring sustainable development of agro-industrial regions. Particular attention is paid to the role of organizations, research institutions, and higher professional education institutions, including the scientific, production, and innovation activities of the institutions of the Academy of Agricultural Sciences of Tajikistan in the regions of the country. The activities of these organizations and institutions are considered an important factor in developing innovation potential, advancing scientific research, training highly qualified specialists, and strengthening mutually beneficial cooperation between science and production. The research findings indicate that the formation of a favorable institutional environment, the introduction of digital technologies, and the implementation of technical and technological innovations are of key importance for improving the efficiency and competitiveness of agro-industrial enterprises. At the same time, strengthening mutually beneficial cooperation between service organizations and participants in the agro-industrial production chain, as well as expanding state support for innovation activities, are proposed as important directions for ensuring sustainable socio-economic development of the country's regions.

Keywords: region, agro-industrial regions, agriculture, innovation, institutional environment, management mechanisms, digital technologies, science and production, sustainable development, production efficiency.

Муқаддима (Introduction)

Дар шароити рушди устувори минтақаҳои мамлакат идоракунии фаъолияти инноватсионӣ яке аз самтҳои афзалиятноки сиёсати иқтисодии давлат ба ҳисоб меравад. Шароити мусоирӣ рушди илму техника тақозои онро менамояд, ки дар таъмини рушди устувор идоракунии инноватсияҳо ба таври сифатан нав такмил дода шуда, дар ояндаи наздик он ба рушди воқеии татбиқи амалии навовариҳо дар минтақаҳои агросаноатӣ заминаҳои мусоид фароҳам месозад. Бахусус, ташкили муҳити институтсионалӣ, аз қабилӣ такмили санадҳои меъёрий-ҳуқуқии фаъолияти инноватсионӣ, ҳамкориҳои судманди илму истеҳсолот дар минтақаҳои агросаноатӣ ба такмили рушд ниёз дорад.

Қайд кардан зарур аст, ки дар сохтори иқтисодиёти муосир, асосҳо ва институтҳои он ба тавлид ва татбиқи инноватсияҳо нигаронида шуда, бо равандҳои навҷорисозӣ фаро гирифта мешавад [4]. Аз ин рӯ, ташаккул ва рушди устувори фаъолияти инноватсионӣ дар минтақаҳои агросаноатӣ аз сатҳи такмили низоми идоракунии институтҳое, ки дар ин самт фаъолият менамоянд, вобастагии калон дорад. Маҳз ташкили муҳити мусоиди институтсионалӣ метавонад шароити заруриро барои татбиқи техникаю технологияҳои нав, ҷалби сармоягузориҳо ва рушди иқтисодии инноватсионии субъектҳои хоҷагидорӣ фароҳам созад.

Мавод ва усули тадқиқот (Material and methods)

Оиди омӯзиши асосҳои институтсионалии фаъолияти инноватсионӣ дар байни олимону муҳаққиқони баҳши мазкур ақидаҳо ва назарияҳои гуногун мавҷуд мебошад. Тадқиқоти илмӣ нишон медиҳад, ки фаъолияти инноватсионӣ на танҳо ҳамчун раванди эҷод ва татбиқи навовариҳо, балки ҳамчун маҷмуи муносибатҳои иқтисодӣ - иҷтимоӣ ва ҳуқуқӣ арзёбӣ мегардад, ки дар доираи институтҳои муайян амалӣ мегардад. Ба андешаи олимони рус Березин И. Л., Лукьянова А. А. бошад танзими фаъолияти инноватсионӣ тавассути шаклҳои институтсионалӣ таъмин гардида, онҳо маҷмуи як қатор унсурҳои низоми иқтисодиро дар бар мегирад, аз ҷумла: сохторҳо ва ташкилоти институтсионалӣ бо самти инноватсионӣ, санадҳои меъёрии ҳуқуқӣ [2]. Аз ҷуфтаҳои боло бармеояд, ки таъмини институтсионалӣ дар раванди идоракунии фаъолияти инноватсионӣ нақши созгор дошта, ҳамчун заминаи асосии ташкилию ҳуқуқӣ ва иқтисодӣ-хоҷагидорӣ хизмат менамояд ва барои ташаккули муҳити инноватсионӣ тавассути фаъолияти муассисаю ташкилоти комплекси агросаноатӣ шароити мусоид фароҳам меорад.

Аз ин ҷост, ки ҷиҳати расидан ба ин ҳадафҳои рушди устувор кишвар тавассути таҳия ва татбиқи санадҳои меъёрий-ҳуқуқӣ, барномаҳои давлатӣ ва механизмҳои дастгирии давлатии илм ва инноватсия самтҳои асосии рушди иқтисодии илмӣ ва инноватсионии кишвар такмил дода мешавад. Аз ин рӯ, ташаккули низоми мукаммали санадҳои меъёрию ҳуқуқӣ, яъне таъмини муҳити институтсионалӣ яке аз шартҳои асосии рушди фаъолияти инноватсионӣ дар минтақаҳои агросаноатӣ ба ҳисоб меравад ва он яке аз сарчашмаҳои асосии ҷори намудани навовариҳо дар ҳудудҳои муайян ва минтақаҳои кишвар маҳсуб меёбад. Дар замони имрӯза барои рушди самти мазкур як қатор санадҳои меъёрии ҳуқуқӣ ва қонунҳои соҳавию минтақавӣ қабул ва мавриди татбиқи амалӣ қарор доранд, ки муносибатҳои иқтисодиро дар самти идоракунии инноватсияҳо танзим менамоянд (ҷадвали1).

Илова бар ин, дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон, ба ғайр аз санадҳои меъёрию ҳуқуқии дар ҷадвали боло овардашуда, як қатор қонуну барномаҳои давлатӣ низ мавриди амал қарор доранд, ки рушди устувори инноватсияҳоро дар минтақаҳои агросаноатӣ, муносибатҳои иқтисодӣ, бахусус ҷорӣ намудани технологияҳои инноватсионӣ, дастгирии рушди истеҳсолоти кишоварзӣ ва зерсохтори иҷтимоиро дар минтақаҳои агросаноатӣ таъмин менамоянд.

Заминаи асосӣ барои фаъолияти инноватсионӣ дар минтақаҳои агросаноатӣ ин эҷод, паҳнкунии ва татбиқи навовариҳо ба мавҷудият ва самаранокии низоми идоракунии соҳавӣ марбут мебошад. Дар заминаи такмили санадҳои меъёрий-ҳуқуқӣ ҳамчун фишанги муҳими танзими муносибатҳои хоҷагидорӣ, фаъолияти илмӣ, инноватсионӣ ва истеҳсолий хизмат намуда, барои

ҷалби сармоягузориҳо, рушди технологияҳои нав ва баланд бардоштани рақобатпазирии молу маҳсулоти ватанӣ шароити мусоид фароҳам меоранд.

Ҷадвали 1 – Санадҳои меъёрӣ-ҳуқуқии рушди низоми идоракунии инноватсияҳо дар минтақаҳои агросаноатии Ҷумҳурии Тоҷикистон

Table 1 – Regulatory and Legal Acts Governing the Development of the Innovation Management System in the Agro-Industrial Regions of the Republic of Tajikistan

Номгуӣи санадҳои меъёрию ҳуқуқӣ	Нақши онҳо дар идоракунии инноватсияҳои минтақаҳои агросаноатӣ
Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон “Дар бораи фаъолияти инноватсионӣ”	Қонуни мазкур заминаи ҳуқуқии ташаккули низоми инноватсионӣ, дастгирии фаъолияти инноватсионӣ, татбиқи технологияҳои муосир ва рушди инфрасохтори инноватсионӣ дар шароити минтақаҳо фароҳам меорад.
Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030	Стратегияи мазкур ба рушди иқтисодиёти инноватсионӣ, рақамикунонии соҳаҳо ва баланд бардоштани рақобатпазирии минтақаҳо равона гаштааст.
Концепсияи пешрафти инноватсионии комплекси агросаноатии Ҷумҳурии Тоҷикистон	Концепсияи мазкур ба рушди низоми инноватсионии минтақаҳои агросаноатӣ тавассути ҷорӣ намудани технологияҳои нав, рақамикунонӣ, рушди илмӣ ва баланд бардоштани самаранокии истеҳсолот равона гардидааст.
Концепсияи ташкил ва рушди кластерҳои агросаноатӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2040	Концепсияи мазкур ҳамгироии истеҳсолкунандагон, корхонаҳои коркард ва муассисаҳои илмиро таъмин намуда, ба рушди занҷираи арзиш, ҷорӣ намудани инноватсияҳо ва баланд бардоштани рақобатпазирии минтақаҳо мусоидат мекунад.
Барномаи рақамикунонии соҳаи кишоварзии Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2025–2029	Барномаи мазкур ба ҷорӣ намудани технологияҳои рақамӣ, рушди кишоварзии дақиқ, автоматикунонии истеҳсолот ва баланд бардоштани самаранокии рақобатпазирии минтақаҳои агросаноатӣ равона мегардад.

Сарчашма: таҳияи муаллиф дар асоси адабиётҳои [1, 5, 6, 8, 9].

Қобили қайд аст, ки дар замони муосир, мувофиқи андешаи муҳаққиқон, иқтисоди агросаноатӣ ба марҳилаи нави рушд ворид гардидааст. Хусусияти асосии ин давра, афзоиши бештари нақши дониш, илм ва инноватсия дар равандҳои хоҷагидорӣ ва иқтисодӣ мебошад. Дар ин росто, институтҳои махсус ҳамчун унсuri муҳими низоми идоракунии инноватсионӣ барои ташаккул, татбиқи навовариҳо нақши калон мебозанд. Оиди ин масъала профессор Комилов С.Ҷ., чунин менигорад, ки тағйироти институтсионалӣ дар бахши инноватсионӣ бо дарназардошти ҳамгирӣ ба раванди ягонаи рушди илми фундаменталӣ, таҳқиқоти амалӣ, тиҷоратикунонии технологияҳо, ташкили зерсохтори тайёр намудани мутахассисон барои ташкили фаъолияти инноватсионӣ бояд сурат гирад [3].

Ба андешаи мо низ рушди дониш ва тайёр намудани мутахассисони баландихтисос дар соҳаҳои гуногуни иқтисоди миллӣ ва таъмини муҳити институтсионалии инноватсионӣ дар минтақаҳои агросаноатӣ мавқеи махсус дорад. Яъне маҳз муассисаю ташкилотҳои таҳсилоти олии касбӣ, миёнаи касбӣ ва дигар ташкилоти илмӣ, метавонанд ҳамчун марказҳои муҳими илмӣ-тадқиқотӣ ва инноватсионӣ дар рушди минтақаҳои агросаноатӣ саҳми назаррас дошта бошанд.

Натиҷаи тадқиқот

Дар замони муосир рушди дониш ва тайёр намудани мутахассисони баландихтисос дар соҳаҳои гуногуни иқтисоди миллӣ ва таъмини муҳити институтсионалии инноватсионӣ дар минтақаҳои агросаноатӣ мавқеи махсус дорад. Яъне, маҳз фаъолияти ин муассисаҳо ва ташкилоти илмӣ барои фароҳам овардани заминаи устувор ҷиҳати таъмини бозори меҳнати кишвар бо кадрҳои баландихтисос, татбиқи дастовардҳои илмӣ дар истеҳсолот ва баланд бардоштани рақобатпазирии соҳаҳои иқтисодиёти комплекси агросаноатӣ шароити мусоид фароҳам меовард. Дар ҷадвали 2 нишондиҳандаҳои асосии шумораи донишгоҳу донишқадаҳои

минтақаҳои кишвар ва тамоюлҳои рушди онҳо дар давоми панҷ соли охир оварда шудааст (ҷадвали 2).

Ҷадвали 2 – Шумораи муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ дар минтақаҳо, бо адад

Table 2 – Number of Higher Professional Education Institutions in the Regions, units

Солҳо	2020 – 2021	2021 – 2022	2022 – 2023	2023 – 2024	2024– 2025	2024 – 2025 нисбати 2020– 2021
Ҳамагӣ	119	120	130	130	131	10,0%
Шумораи муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ дар минтақаҳои кишвар						
ВМКБ	2	2	2	2	2	0,0%
Хатлон	6	6	7	7	7	16,6%
Суғд	7	7	10	10	10	42,8%
Душанбе	25	25	26	26	26	4,0%
НТҚ	1	1	1	1	1	0,0%
Ҳамагӣ	41	41	46	46	46	12,3%
Шумораи муассисаҳои таҳсилоти миёнаи касбӣ дар минтақаҳои кишвар						
ВМКБ	1	1	1	1	1	0,0%
Хатлон	25	27	33	32	32	28,0%
Суғд	22	22	21	21	21	-4,5%
Душанбе	14	13	12	13	12	-14,2%
НТҚ	16	16	17	17	19	18,7%
Ҳамагӣ	78	79	84	84	85	8,9%

Сарчашма: Таҳияи муаллиф аз рӯи ҳисоботи омили солонаи Ҷумҳурии Тоҷикистон/ Агенсии омили назди ПҚТ. - Душанбе, 2025. - С.44-45, 64-66

Тибқи маълумоти ҷадвали мазкур, дар соли таҳсили 2024–2025 дар ҷумҳурӣ аз рӯи ҷойгиршавии ҳудудӣ 46 муассисаи таҳсилоти олии касбӣ фаъолият менамояд, ки нисбат ба соли таҳсили 2020–2021 ба 5 адад ё 12,2 % зиёд шудааст. Нишондиҳандаи мазкур дар шаҳри Душанбе ба 1 адад (4,0 %) , вилояти Хатлон ба 1 адад (16,7 %) ва дар вилояти Суғд ба 3 адад (42,9 %) зиёд шудааст. Дар НТҚ ва ВМКБ шумораи муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ бетағйир боқӣ мондааст. Шумораи муассисаҳои таҳсилоти миёнаи касбӣ бошад дар ҳамин давраи ҳисоботӣ дар маҷмӯъ 85 ададро ташкил медиҳад, ки нисбат ба соли таҳсили 2020–2021 ба 7 адад ё 8,9 % зиёд шудааст. Аз ин шумора дар вилояти Хатлон шумораи муассисаҳо ба 7 адад (28,0 %) ва дар НТҚ ба 3 адад (18,8 %) зиёд шудааст. Дар вилояти Суғд шумораи муассисаҳо 1 адад (4,5 %) ва дар шаҳри Душанбе 2 адад (14,3 %) кам шудааст. Дар ВМКБ бошад, нишондиҳандаи мазкур бетағйир боқӣ мондааст [7].

Яке аз тамоюлҳои дигари ташаккули идоракунии инноватсияҳо дар минтақаҳои агросаноатии кишвар ин рушди инфрасохтори илмӣ - тадқиқотӣ ба ҳисоб меравад. Мавқеи илм дар рушди соҳаи фаъолияти инноватсионӣ дар минтақаҳои агросаноатии кишвар хеле муҳим ва стратегӣ ба ҳисоб рафта ҳамчун манбаи асосии дониш, тайёр намудани мутахассисони баландхатисос, технологияи нав ва қарорҳои амалии самаранок барои баланд бардоштани истеҳсолот, истифодаи оқилонаи захираҳои иқтисодӣ ва рушди устувори минтақаҳои агросаноатӣ хизмат менамояд.

Илова бар ин, муассисаю ташкилоти илмӣ ҷиҳати оморасозии кадрҳои баландхатисос ва ташаккули тафаккури инноватсионӣ дар шароити минтақа нақши созгор мебозанд. Тайёр намудани мутахассисоне, ки дорои донишҳои муосир ва малақаҳои татбиқи навоариҳо мебошанд, шартӣ асосии рушди устувори низоми инноватсионӣ дар шароити минтақаҳои агросаноатӣ ба ҳисоб меравад. Дар ин росто, нишондиҳандаи асосии фаъолияти муассисаю ташкилоти илмӣ минтақаҳои кишвар дар ҷадвали 3 оварда шудааст (ҷадвали 3).

Ҷадвали 3 – Муассисаю ташкилотҳои илмӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон ва минтақаҳои кишвар
Table 3 – Scientific Institutions and Organizations of the Republic of Tajikistan and the Country's Regions

Солҳо	2020	2021	2022	2023	2024	2020 нисбати 2024 бо%
Шумораи муассисаю ташкилотҳои илмӣ ҶТ бо адад, аз ҷумла:	82	81	80	80	82	0,0%
- дар вилояти ВМКБ	3	3	3	3	3	0,0%
- дар вилояти Хатлон	4	6	5	5	5	25,0%
- дар вилояти Суғд	7	5	5	5	5	-28,5%
- дар шаҳри Душанбе	66	66	66	66	68	3,0%
- дар НТҶ	2	1	1	1	1	-50,0%

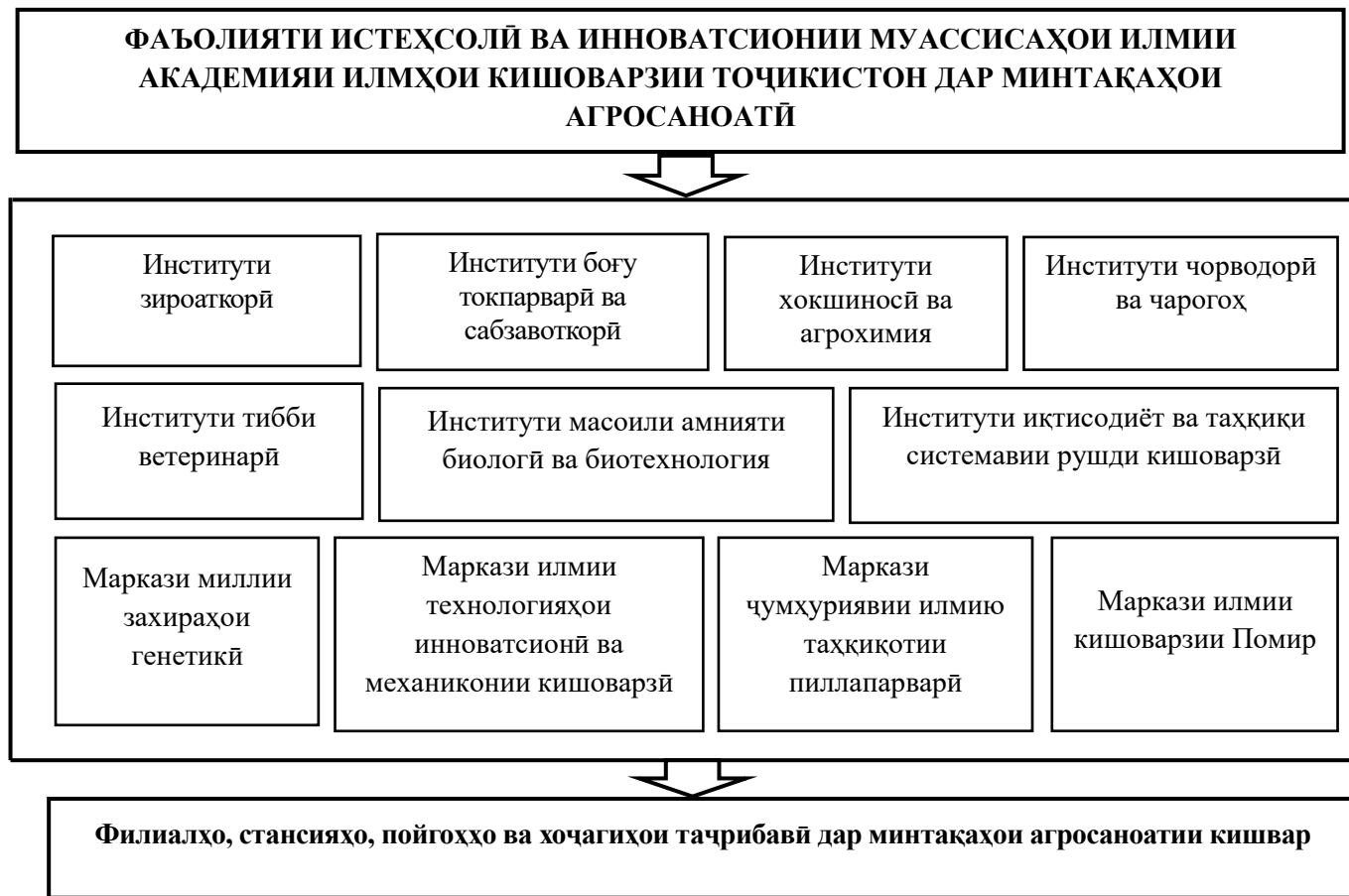
Сарчашма: Таҳияи муаллиф аз рӯи ҳисоботи омили солонаи Ҷумҳурии Тоҷикистон/ Агентии омили назди ПҚТ. - Душанбе, 2025. - С.68

Аз таҳлили ҷадвали 3 бармеояд, ки шумораи умумии муассисаю ташкилоти илмӣ ҷумҳурӣ дар соли 2024 - 82 ададро ташкил медиҳад, ки нисбат ба соли 2020 бетағир боқӣ мондааст. Нишондиҳандаи мазкур дар шаҳри Душанбе - 2 адад (3,0%), вилояти Хатлон - 1 адад (25,0 %) зиёд шудааст. Дар НТҶ - 1 адад (50 %) ва дар вилояти Суғд - 2 адад (28,5,%) кам шудааст. Дар ВМКБ бошад, нишондиҳандаи мазкур бетағир боқӣ мондааст [7].

Дар ин раванд, ҷиҳати идоракунӣ ва танзими паҳннамоеи инноватсияҳо миёни муассисаҳо ва ташкилоти илмӣ дар миқёси кишвар Академияи илмҳои кишоварзии Тоҷикистон (АИКТ) мавқеи марказӣ дорад. Академияи илмҳои кишоварзии Тоҷикистон соли 1991 таъсис ёфта, самараи истиқлолияти миллӣ мебошад. Дар сохтори Академия 11 муассисаи илмӣ ва ҳамчунин муассисаҳои илмӣ мазкур дорои 24 филиал, стансия, пойгоҳ ва хоҷагиҳои таҷрибавӣ дар ҳудудҳои минтақаҳои агросаноатӣ мебошанд [10]. (расми 1).

Муассисаю ташкилоти мазкур дар татбиқи дастовардҳои илмӣ, ҷорӣ намудани технологияҳои нави муосир ва баланд бардоштани самаранокии истеҳсолоти комплекси агросаноатӣ дар маҷмуъ нақши муҳим мебозанд. Зерташкилоти илмӣ АИКТ дар минтақа дорои хоҷагиҳои таҷрибавӣ ва истеҳсоли мебошанд, ки ҳамчун пойгоҳи асосии татбиқи дастовардҳои илмӣ, корҳои таҳқиқотӣ, таҷрибавӣ ва истеҳсолиро хизмат намуда, барои хоҷагиҳои деҳқонӣ ва кооперативҳо навҳои серҳосил ва ба иқлим мутобиқро пешниҳод менамоянд. Дар зерташкilotҳои мазкур навҳои нави пахта, гандум, шолӣ, сабзавот, полезӣ ва дигар зироатҳои кишоварзӣ дар шароити гуногуни иқлимӣ мавриди озмоиш қарор дода мешаванд. Ҳадафи асосии чунин таҷрибаҳо муайян намудани навҳои серҳосил, ба касалиҳо ва ҳашароти изараррасон тобовар, инчунин ба шароити иқлимӣ минтақаҳои агросаноатӣ мутобиқ мебошад. Фаъолияти истеҳсоли ва инноватсионии зерташкilotҳои муассисаҳои илмӣ Академияи илмҳои кишоварзии Тоҷикистон дар минтақаҳои кишвар яке аз самтҳои муҳими рушди институтсионалии минтақаҳои агросаноатии кишвар ба ҳисоб меравад.

Қайд кардан бомаврид аст, ки муассисаҳои илмӣ Академияи мазкур дар самти татбиқи равандҳои инноватсионӣ, ҷорӣ намудани технологияҳои муосири кишоварзӣ, истифодаи самараноки захираҳои табиӣ ва баланд бардоштани ҳосилнокии соҳаи кишоварзӣ мавқеи баланд дошта, дар рушди устувори инноватсионӣ дар минтақаҳои агросаноати кишвар саҳми назаррас мегузоранд.



Расми 1 – Фаъолияти истеҳсолӣ ва инноватсионии муассисаҳои илмӣ Академияи илмҳои кишоварзии Тоҷикистон дар минтақаҳои агросаноатӣ

Figure 1 – Production and Innovation Activities of the Scientific Institutions of the Academy of Agricultural Sciences of Tajikistan in the Agro-Industrial Regions

Сарчашма: Таҳияи муаллиф дар асоси ҳисобот оид ба фаъолияти илмӣ Академияи илмҳои кишоварзии Тоҷикистон ва дигар муассисаҳои комплекси агросаноатии ҷумҳурӣ дар соли 2025

Муҳокима (Discussion)

Дар раванди тадқиқот масъалаҳои таъмини институтсионалии идоракунии инноватсияҳо дар минтақаҳои агросаноатӣ таҳлил гардида, барои самаранок намудани фаъолияти инноватсионӣ татбиқи пайвастаи тадбирҳои зерин зарур доништа шуд:

- тақмил ва мукамал намудани заминаи меъёрӣ-ҳуқуқии танзими фаъолияти инноватсионӣ дар комплекси агросаноатӣ бо дарназардошти хусусиятҳои табиӣ-иқлимӣ, иҷтимоӣ иқтисодӣ ва истеҳсолии минтақаҳо;

- тақвият бахшидан ва густариш додани ҳамкориҳои муассисаҳои илмӣ, муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ ва миёнаи касбӣ бо корхонаҳои агросаноатии минтақа ҷиҳати таҳия, озмоиш ва ҷорӣ намудани дастовардҳои илмӣ, технологияҳои инноватсионӣ ва омодагии мутахассисони баландихтисос;

- рушд, таҳким ва самаранок намудани фаъолияти зерташкілот, пойгоҳҳо ва хоҷагҳои таҷрибавӣ Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон дар минтақаҳои кишвар бо мақсади рушди корҳои илмӣ-таҳқиқотӣ, ҷорӣ намудани натиҷаҳои таҳқиқоти илмӣ ва технологияҳои инноватсионӣ дар истеҳсолоти агросаноатӣ ва таҳкими ҳамкориҳои илм бо истеҳсолот;

- баланд бардоштани нақши дастгирии давлатии фаъолияти инноватсионӣ дар комплекси агросаноатии минтақа тавассути таҳкими механизмҳои маблағгузорӣ, ҳавасмандгардонии

субъектҳои инноватсионӣ, дастгирии лоиҳаҳои илмӣ-таҳқиқотӣ ва фароҳам овардани шароити мусоид барои ҷорӣ намудани технологияҳои муосир;

- ҷорӣ намудани технологияҳои рақамӣ, навовариҳои техникӣ-технологӣ ва низомҳои муосири идоракунии бо дарназардошти иқтисодии истеҳсолӣ, имкониятҳои иқтисодӣ ва хусусиятҳои хоси минтақаҳои агросаноатӣ ;

- фароҳам овардани шароити мусоид барои баланд бардоштани рақобатпазирӣ ва таъмини рушди устувори иҷтимоию иқтисодии минтақа.

Хулоса (Conclusion)

Ҳамин тариқ, дар натиҷаи омӯзиши таъмини институтсионалии идоракунии инноватсионӣ дар минтақаҳои агросаноатии Ҷумҳурии Тоҷикистон ба чунин хулоса омадан мумкин аст, ки яке аз механизмҳои асосии рушд ва татбиқи инноватсияҳо дар ҳамаи соҳаҳои ҳоҷагии халқ, аз ҷумла дар комплекси агросаноатӣ, ба сатҳи рушди институтҳои амалкунанда ба ҳисоб меравад. Заминаҳои асосҳои ҳуқуқию меъёрии рушди фаъолияти инноватсионӣ дар комплекси агросаноатӣ яке аз унсурҳои муҳими заминаҳои институтсионалии инноватсияҳо дар минтақаҳои агросаноатӣ ба ҳисоб рафта, ҳамчун шартҳои асосии рушди васеи фаъолияти инноватсионӣ хизмат намуда, ҳамчун муҳаррики асосии тавлид, интиқол ва паҳн намудани донишҳои нав, технологияҳои муосир ва навовариҳо баромад намуда, ба баланд бардоштани самаранокӣ ва рақобатпазирии истеҳсолоти агросаноатӣ шароит фароҳам меоранд.

Адабиёт

1. Барномаи рақамикунории соҳаи кишоварзии Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2025-2029 аз 29 майи соли 2025, №334 -Душанбе, 2025
2. Березин, И.Л. Институциональные формы управления инновационной деятельностью и их ограничения / Березин И.Л., Лукьянова А.А. // Креативная экономика. – 2023. – Том 17. – № 4. – С. 1211–1230 - DOI: 10.18334/ce.17.4.117687 - EDN: LUKYHD.
3. Комилов, С.Дж. Формирование инновационного потенциала как условие индустриально-инновационного развития национальной экономики / Комилов С.Д. // Проблемы современной экономики. – 2019. – № 2 (70). – С. 157-160. - ISSN 1818-3395.
4. Комилов, С.Ҷ. Рушди сармояи инсонӣ дар шароити иқтисодиёти инноватсионӣ: ҷанбаҳои институтсионалӣ. / Комилов С.Ҷ., Садиқова Ш.К., Ҳодиев Д.А. // Монография. – Душанбе, 2025. – 184 с.
5. Концепсияи пешрафти инноватсионии комплекси агросаноатии Ҷумҳурии Тоҷикистон” аз 3 март соли 2014 №144, -Душанбе, 2014.
6. Концепсияи ташкил ва рушди кластерҳои агросаноатӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2040 аз 28 октябри соли 2020, № 566, -Душанбе, 2020.
7. Омори солонаи Ҷумҳурии Тоҷикистон/ Агентии омори назди ПҚТ. -Душанбе, 2025.
8. Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон “Дар бораи фаъолияти инноватсионӣ” аз 16 апрели соли 2012, № 822-Душанбе, 2012.
9. Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то солҳои 2030, аз 01.12.2016, № 636, -Душанбе, 2016.
10. Ҳисобот оид ба фаъолияти илмӣ Академияи илмҳои кишоварзии Тоҷикистон ва дигар муассисаҳои комплекси агросаноатии ҷумҳурӣ дар соли 2025, - Душанбе, 2025.

References

1. Digitalization Program for the Agricultural Sector of the Republic of Tajikistan for 2025–2029, dated May 29, 2025, No. 334. – Dushanbe, 2025.
2. Berezin, I. L., Lukyanova, A. A. Institutional Forms of Management of Innovation Activity and Their Limitations // Creative Economy. – 2023. – Vol. 17. – No. 4. – P. 1211–1230. – DOI: 10.18334/ce.17.4.117687. – EDN: LUKYHD.
3. Komilov, S. J. Formation of Innovation Potential as a Condition for Industrial and Innovative Development of the National Economy // Problems of Modern Economics. – 2019. – No. 2 (70). – P. 157–160. – ISSN 1818-3395.
4. Komilov, S. J., Sodikova, Sh. K., Khodiev, D. A. Development of Human Capital in the Context of an Innovative Economy: Institutional Aspects. Monograph. – Dushanbe, 2025. – 184 p.
5. Concept for Innovative Development of the Agro-Industrial Complex of the Republic of Tajikistan, dated March 3, 2014, No. 144. – Dushanbe, 2014.

6. Concept for the Establishment and Development of Agro-Industrial Clusters in the Republic of Tajikistan for the Period up to 2040, dated October 28, 2020, No. 566. – Dushanbe, 2020.
7. Statistical Yearbook of the Republic of Tajikistan / Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. – Dushanbe, 2025.
8. Law of the Republic of Tajikistan “On Innovation Activity”, dated April 16, 2012, No. 822. – Dushanbe, 2012.
9. National Development Strategy of the Republic of Tajikistan for the Period up to 2030, dated December 1, 2016, No. 636. – Dushanbe, 2016.
10. Report on the Scientific Activities of the Academy of Agricultural Sciences of Tajikistan and Other Institutions of the Agro-Industrial Complex of the Republic in 2025. – Dushanbe, 2025.

Маълумот оид ба муаллиф:

Наимов Далер Мадалиевич, докторанти (PhD) Донишгоҳи давлатии молия ва иқтисоди Тоҷикистон, аз рӯи ихтисоси «иқтисодиёт». E-mail: daler.naimov.96@mail.ru

Сведения об авторе:

Наимов Далер Мадалиевич, докторант (PhD) Таджикского государственного финансово-экономического университета по специальности «экономика». E-mail: daler.naimov.96@mail.ru

Information about the author:

Naimov Daler Madalievich, PhD student of the Tajik State University of Finance and Economics by specialty «Economics». E-mail: daler.naimov.96@mail.ru

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.		

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.

5. Требования к оформлению статей

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

Рекомендации по набору и оформлению текста

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

Наименование	Требования	Примечания
		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:	Муаллифон
Мухаррири матни англисӣ:	Муаллифон
Ороиши компютерӣ ва тарроҳӣ:	Ш.Р. Орифова
Редактор русского текста:	М.М. Якубова
Редактор таджикского текста:	Авторская редакция
Редактор английского текста:	Авторская редакция
Компьютерный дизайн и верстка:	Ш.Р. Орифова

Нишонӣ: ш. Душанбе, хиёбони акад. Раҷабовҳо, 10^А

Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Ражабовых, 10^А

Ба чоп 29.09.2026 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. Раҷабовҳо, 10^А