

ISSN 2520-2235

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Баҳши Интеллект, Инноватсия, Инвеститсия

1 (73) 2026



ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции

POLYTECHNIC BULLETIN
Series: Intelligence. Innovation. Investments

ПАЁМИ

ПОЛИТЕХНИКӢ

**БАХШИ ИНТЕЛЛЕКТ, ИННОВАТСИЯ,
ИНВЕСТИЦИЯ**

МАҶАЛЛАИ ИЛМӢ – ТЕХНИКӢ

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

Published since January 2008

ISSN
2520-2235

1(73)

2026



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

Журнал включен в перечень рецензируемых изданий ВАК при Президенте Республики Таджикистан, ВАК при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан, а его 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 обуна 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 идоракунӣ 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 техникӣ, дотсент

С.А. НАБИЕВ
номзади илмҳои техникӣ, дотсент

У.Х. ҶАЛОЛОВ
номзади илмҳои техникӣ, дотсент

А.А. ҚОСИМОВ
доктори илмҳои техникӣ, дотсент

А.Д. АҲРОРОВА
Доктори илмҳои иқтисодӣ, профессор

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

А.Д. АХРОРОВА
доктор экономических наук, профессор

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 обнаружить произведение посредством его опубликования в печати.

МУНДАРИҶА – ОГЛАВЛЕНИЕ

МАТЕМАТИКА - MATHEMATICS	5
<u>ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЙ ЛИНЕЙНОГО КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ В КРИТИЧЕСКОМ СЛУЧАЕ ОДНОГО НУЛЕВОГО КОРНЯ</u> С.З. Курбаншоев ¹ , У.Р. Рустамбекова ²	5
ФИЗИКА - PHYSICS	10
<u>ИЗМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГОРОДЕ ДУШАНБЕ ПРИ ПЫЛЕВОЙ БУРЕ И ПЫЛЕВОЙ МГЛЕ</u> С.Ф. Абдуллозода ¹ , В.А. Маслов ¹ , М.А. Абдуджамилзода ² , Н.А. Абдурасулова ²	10
ИНФОРМАТИКА, ТЕХНИКАИ ҲИСОББАРОР ВА ИДОРАКУНӢ - ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ - INFORMATICS, COMPUTER TECHNOLOGY AND MANAGEMENT	14
<u>МОНИТОРИНГ И ОПТИМИЗАЦИЯ УРОВНЯ RTWP КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ</u> Б.Б. Саидов, Д.А. Анварзода, Ф.Р. Азизуллоев, В.Т. Бехбудов	14
<u>ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ПОСТОЯННЫМИ И ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ</u> У.Х. Джалолов, Р.М. Бандишоева, М.А. Бадалова, Ш.Ё. Холов	24
<u>ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ</u> Ван Цуйцуй	34
<u>ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ВУЗЕ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭМПИРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГОТОВНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ</u> Луо Хайбо	40
<u>ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ АВТОРЕГРЕССИОННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ СИГНАЛОВ В СЕТЯХ 5G</u> Б.Б. Саидов	47
<u>ДАР БОРАИ УСУЛИ БАҲОДИҶИИ СИФАТИ ТАЪЛИМ ДАР СИСТЕМАИ ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН</u> З.О. Муродзода, Ш.Ё. Холов, Н.И. Юнусов	56
<u>ОИД БА АЛГОРИТМИ ТАҲЛИЛИ ХУДКОРИ МОРФОЛОГИИ КАЛИМАҶОИ ЗАБОНИ ТОҶИКӢ</u> Г.М. Довудов	67
<u>АМСИЛАҶОИ ХАТӢ, ДАРАЧАВӢ, ЭКСПОНЕНСИАЛӢ ВА ЛОГИСТИКӢ ДАР ТАСВИРИ ДИНАМИКАИ АҶЗОИШИ ВАЗНИ ЗИНДАИ МУРҶИ МАРҶОН</u> Ф.С. Комилиён, Д.И. Солихзода	73
<u>ТАҲИЯИ МОДЕЛ ВА ТАҲЛИЛИ НИЗОМИ ХАТСАЙРҶОИ НАҚЛИЁТИ ҶАМЪИЯТИИ ШАҲРИ ДУШАНБЕ</u> А.А. Қосимов, Ш.С. Саидов	82
<u>РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ В ЛОКАЛЬНЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ</u> А.Д. Бахдавлатов, Д. Оламафрузи, А.Р. Ато	93
<u>ШИФРОВАНИЯ ТЕКСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВИЖЕНЕРА</u> М.Х. Гафуров	99
<u>УСУЛИ АҶЗОИШИ ДОДАҶОИ СИНТЕТИКӢ БО ИСТИФОДА АЗ МОДЕЛҶОИ ДИФФУЗИОНӢ БАРОИ БАЛАНД БАРОДШТАНИ УСТУВОРИИ СИСТЕМАҶОИ БИОМЕТРӢ ДАР МУҲИТИ ТАЪЛИМӢ</u> Ш.Ф. Муҳамедова, Ҳ.Б. Шарипов	111

ДАР БОРАИ АЛГОРИТМИ ТАҲИЯИ МАҚМУИ ХУСУСИИ N-ГРАММАҶО АЗ УНСУРҶОИ МАТН

М.Ҷ. Фафуров, Иброҳими Ю.....117

ИҚТИСОД ВА ИДОРАКУНИИ ҲОҶАГИИ ХАЛҚ - ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ - ECONOMICS AND MANAGEMENT OF THE NATIONAL ECONOMY123

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОИМОСТИ ПРОЕКТОВ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ТАДЖИКИСТАНЕ

А.Д. Ахророва, Н.М. Камилова 123

КОНСТРУКЦИЯ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ПЕЧИ В ХОЗЯЙСТВАХ ВАРЗОВСКОГО РАЙОНА

Б.Х. Разыков, М.А. Джураев, Ф.С. Юсупов, С.А. Абдурахмонов 130

РОЛЬ КЛЮЧЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНОВ РТ В РАЗВИТИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОПОТОКОВ

Ф.Н. Низомзода 139

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПРОСА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ: КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ И СЦЕНАРНОЕ РАЗВИТИЕ

С.Р. Чоршанбиев 144

МАСЪАЛАИ ИСТИФОДАИ ОҚИЛОНАИ НЕРҶИ БАҶА ВА САМАРАНОКИИ ОН

М.И. Исмоилов, Ф.Б. Усмонзода, Қ.Н. Убайдзода.....151

МУТОБИҚШАВИИ КОРХОНАҶОИ САНОАТИ МАВОДИ СОХТМОН БА МУҲИТИ РАҚОБАТНОКИИ БОЗОРИ ИҚТИСОДИ

Ҷ.Ф. Муминова 156

ТАЪСИРИ РАҚАМИСОЗӢ БА НИШОНДИҲАНДАҶОИ ТЕХНИКӢ-ИСТИФОДАБАРИИ ФАӢОЛИЯТИ НАКЛИӢТИ МУСОФИРБАРИ ШАҲРИ ДУШАНБЕ ВА САМАРАНОКИИ ИСТИФОДАИ ОН

Ф.Ҷ. Саидзода, Н.Ш. Мирзоева 160

АНАЛИЗ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЖИЛОГО ЗДАНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

М.М. Байматова, М.Б. Холзода 169

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННОЙ ЭКОНОМИКИ

Гаффорзода Нигорахон.....176

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭСКРОУ-СЧЕТОВ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, КАК ИНСТРУМЕНТА ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

З.М. Каримова.....182

РАСЧЁТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗДАНИЯ ИЗ НЕРАЗРЕЗНЫХ АСПО В СЕЙСМИЧЕСКОМ РАЙОНЕ

О.Р. Нуманов.....191

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЙ ЛИНЕЙНОГО КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ В КРИТИЧЕСКОМ СЛУЧАЕ ОДНОГО НУЛЕВОГО КОРНЯ

С.З. Курбаншоев¹, У.Р. Рустамбекова²

¹Российско – Таджикский (Славянский) университет

²Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье разрабатывается разложение линейного дифференциального уравнения на операторные множители, которые применяются для отщепления одного частного решения асимптотически, поведение решений которого определяет устойчивость решений исходного дифференциального уравнения.

Ключевые слова: устойчивость решений, оператор, дифференциального уравнения, функция Грина.

ТАДҚИҚИ УСТУВОРИИ ҲАЛЛИ МУОДИЛАИ ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ХАТТИИ КВАЗИСТАЦИОНАРӢ ДАР ҲОЛАТИ КРИТИКИИ ЯК РЕШАИ НУЛӢ

С.З. Курбаншоев, У.Р. Рустамбекова

Дар мақола усули ҷудокунии муодилаи дифференсиалии хаттӣ ба бисераъзогиҳои операторӣ тадқиқ карда шудааст, ки он барои ҷудо кардани як ҳалли мушаххаси асимптотикӣ истифода мешавад. Усули ҳалли онҳо устувории ҳалли муодилаи дифференсиалии аслиро муайян мекунад.

Калидвожаҳо: устувории ҳал, оператор, муодилаи дифференсиалӣ, функсияи Грин.

INVESTIGATION OF THE STABILITY OF SOLUTIONS OF A LINEAR QUASI-STATIONARY DIFFERENTIAL EQUATION IN THE CRITICAL CASE OF A SINGLE ZERO ROOT

S.Z. Kurbanshoeff, U.R. Rustambekova

The article examines a method for decomposing a linear differential equation into operator factors, which uses an asymptotic method to split off one particular solution, the behavior of which determines the stability of the solutions of the original differential equations.

Keywords: stability of solutions, operator, differential equation, Green's function.

Введение

Данное исследование проведено для устойчивости решений линейного квазистационарного дифференциального уравнения в критическом случае одного нулевого корня, которые впервые были разработаны в работах советских исследователей: А. Пуанкаре, Ю.А.Митропольского, К.Г. Валева, В.А. Плиса, Н.Г.Четаева и др., а также в работах зарубежных математиков: Диллиберто, А.Халаяна, Н.Чейфи, В.Кайнера и др.

Рассматривается линейное дифференциальное уравнение:

$$U_0(d)y + \mu U_1(t, d)y = 0, \quad (1)$$

где $U_0(d)$ - дифференциальный оператор n – го порядка.

$$U_0(d) = \sum_{k=1}^n a_k d^k, \quad d = \frac{d}{dt}, \quad a_k \neq 0,$$

μ – малый параметр, $U_1(t, d)$ - нестационарный возмущающий оператор $U_1(t, d) = \sum_{k=0}^n b_k(t) d^k$,

$b_k(t)$ – кусочно-непрерывные, ограниченные при $t \geq 0$ функции.

При $\mu = 0$ приходим к линейному дифференциальному уравнению с постоянными коэффициентами

$$\sum_{k=1}^n a_k \frac{d^k y(t)}{dt^k} = 0. \quad (2)$$

Предположим, что характеристическое уравнение $U_0(p)=0$ имеет один нулевой корень, а остальные корни характеристического уравнения имеют отрицательные вещественные части. При $\mu \neq 0$ возможна устойчивость или неустойчивость нулевого решения уравнения (1), [2]. Ищем частные решения уравнения (1), порождаемые нулевым корнем характеристического уравнения $U_0(p)=0$.

Для этого разложим дифференциальный оператор в уравнении (1) на операторные множители:

$$U_0(p) + \mu U_1(t, d) = U_2(t, d, \mu)(d - \mu\beta(t, \mu)). \quad (3)$$

При этом дифференциальное уравнение (1) представляется в виде:

$$U_2(t, d, \mu)(d - \mu\beta(t, \mu)) = 0.$$

Обозначая $z = (d - \mu\beta(t, \mu))y$, получим дифференциальное уравнение $(n-1)$ -го порядка

$$U_2(t, d, \mu)z = 0, \quad (4)$$

где $U_2(t, d, 0) = \sum_{k=1}^n a_k d^{k-1}$.

Поскольку все корни характеристического уравнения (4) имеют отрицательные вещественные части, то при малых значениях $|\mu| > 0$ все его решения экспоненциально [3] стремятся к нулю при $t \rightarrow +\infty$.

Из уравнения

$$y' = \mu\beta(t, \mu)y = z$$

следует, что любое частное решение уравнения (1) имеет вид:

$$y = \exp\left\{\mu \int_0^t \beta(t, \mu) dt\right\} + y_0(t, \mu),$$

где $y_0(t, \mu) \rightarrow 0$ при $\mu \rightarrow +\infty$. Следовательно, устойчивость всех решений уравнения (1) при достаточно малых значениях $|\mu| > 0$ будет определяться асимптотическим поведением при $t \rightarrow +\infty$ интеграла

$$I(t, \mu) = \int_0^t \beta(\tau, \mu) d\tau.$$

Если $I(t, \mu) \rightarrow +\infty$, то нулевое решение уравнения (1) неустойчиво, если $I(t, \mu) \leq c = \text{const}$, то нулевое решение уравнения (1) устойчиво, если $I(t, \mu) \rightarrow -\infty$, то нулевое решение уравнения (1) асимптотически устойчиво. [4]

Построим функции $\beta(t, \mu)$ и рассмотрим некоторые её свойства.

Первый способ отыскания функции $\beta(t, \mu)$ заключается в непосредственном разложении дифференциального оператора на множители (3) и выделении линейного множителя. Другой способ заключается в установлении условий, при которых любое решение линейного дифференциального уравнения первого порядка:

$$y' = \mu \beta(t, \mu) y \quad (5)$$

тождественно удовлетворяло уравнению (1). Дифференцируя уравнение (5) по t , получаем:

$$\begin{aligned} y' &= \mu \beta y, \\ y'' &= \mu \beta' y + \mu \beta y', \\ y''' &= \mu \beta'' y + 2\mu \beta' y' + \mu \beta y'', \\ y^{IV} &= \mu \beta''' y + 3\mu \beta'' y' + 3\mu \beta' y'' + \mu \beta y''', \dots \end{aligned}$$

Исключая последовательно производные y' , получим известные равенства:

$$\begin{aligned} y' &= \mu \beta y, \\ y'' &= (\mu \beta' + \mu^2 \beta^2) y, \\ y''' &= (\mu \beta'' + 3\mu^2 \beta \beta' + \mu^3 \beta^3) y, \\ y^{IV} &= (\mu \beta''' + 4\mu^2 \beta \beta'' + 3\mu^2 \beta \beta' + 6\mu^3 \beta^2 \beta' + \mu^4 \beta^4) y, \dots \end{aligned}$$

Подставляя выражения для производных $y^{(k)}$ ($k=1, 2, \dots, n$) через y в уравнение (1), приходим к дифференциальному уравнению для функции $\beta(t, \mu)$

$$\sum_{k=1}^n a_k \beta^{(k-1)} + b_0(t) + \mu S(t, \beta, \beta', \dots, \beta^{(n-1)}, \mu) = 0, \quad (6)$$

где S — известная функция.

При $\mu = 0$ дифференциальное уравнение (6) имеет асимптотически устойчивое решение при $t \rightarrow +\infty$. При достаточно малых значениях $|\mu| > 0$ решение уравнения (6) $\beta = \beta(t, \mu)$ будет также асимптотически устойчивым при $t \rightarrow +\infty$. Это решение можно найти в виде разложения по степеням малого параметра μ в виде ряда [5]

$$\beta(t, \mu) = \sum_{k=0}^{\infty} \mu^k \beta_k(t) = 0,$$

который заведомо сходится при достаточно малых значениях $|\mu| > 0$. Это решение можно также найти методом последовательных приближений [6, 9] из интегрального уравнения вида:

$$\beta(t, \mu) = - \int_{-\infty}^t G(t-\tau) (b(\tau) + \mu S(\tau, \beta(\tau), \beta'(\tau), \dots, \beta^{(n-1)}(\tau), \mu)) d\tau. \quad (7)$$

где $G(t-\tau)$ функция Грина [7] для уравнения [8]

$$\sum_{k=0}^n a_k \beta^{(k-1)} = f(t),$$

т.е.

$$G(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\sum_{k=0}^n a_k p^{(k-1)} \right)^{-1} e^{pt} dp.$$

Дифференциальное уравнение (6) называем уравнением расщепления. Из формулы (7) следуют теоремы.

Теорема 1. Если коэффициенты $b_k(t)$ ($k=1,2,\dots,n$) являются периодическими функциями от t с общим периодом T , то ограниченное на всей оси t решение уравнения (6) $\beta = \beta(t, \mu)$ уравнения расщепления будет периодической функцией от t с периодом T при достаточно малых значениях $|\mu| > 0$.

Теорема 2. Если коэффициенты $b_k(t)$ ($k=1,2,\dots,n$) в уравнении (1) являются почти периодическими функциями с некоторым частотным базисом, то ограниченное на всей оси решение $\beta = \beta(t, \mu)$ уравнения расщепления (6) является почти периодической функцией с тем же частотным базисом при достаточно малых значениях $|\mu| > 0$.

Теорема 3. Если коэффициенты $b_k(t)$ ($k=1,2,\dots,n$) в уравнении (1) являются ограниченными на всей оси функции из класса C_s ($s > 0$), то ограниченное на всей оси решение $\beta = \beta(t, \mu)$ уравнения расщепления (6) будет ограниченным на всей оси функцией из класса C_s при достаточно малых значениях $|\mu| > 0$.

Здесь C_s – обозначает класс непрерывных функций, имеющий непрерывные производные до порядка S включительно.

Пример. Исследуем условие устойчивости решений линейного дифференциального уравнения

$$y''' + y'' + y' + \mu(a \sin t \cdot y'' + b \cos t \cdot y' + \sin t \cdot y) = 0 \quad (8)$$

Ищем его решение в виде:

$$y = C \exp \left\{ \mu \int_0^t \beta(\tau, \mu) d\tau \right\}.$$

Дифференцируя данное равенство, получим:

$$y' = \mu \beta y, \quad y'' = (\mu \beta' + \mu^2 \beta^2) y, \quad y''' = (\mu \beta'' + 3\mu^2 \beta \beta' + \mu^3 \beta^3) y$$

используя которые находим уравнение расщепления:

$$\beta'' + \beta' + \beta + c \sin t + \mu(3\beta\beta' + \beta^2 + b\beta \cos t + \beta' \sin t) + \mu^2(\beta^3 + \beta^2 a \sin t) = 0.$$

Решение данного уравнения ищем в виде разложения по степеням параметра μ

$$\beta(t, \mu) = \beta_0(t) + \mu_1 \beta_1(t) + \mu^2 \beta_2(t) + \dots$$

Для функций $b_k(t)$ ($k=0,1,\dots,n$) находим уравнение

$$\beta_0'' + \beta_0' + \beta_0 + c \sin t = 0,$$

$$\beta_1'' + \beta_1' + \beta_1 + 3\beta_0 \beta_0' + \beta_0^2 + b\beta_0 \cos t + a\beta_0' \sin t = 0.$$

Из первого уравнения находим $\beta_0 = \cos t$;

Из второго уравнения находим

$$\beta_1 = \frac{1}{2}(ac - bc - c^2) + C_1 \cos 2t + C_2 \sin 2t, \quad C_1, C_2 = \text{const.}$$

Следовательно, при достаточно малых значениях $|\mu| > 0$ нулевое решение уравнения (8) будет асимптотически устойчивым при $c(a-b-c) < 0$ и неустойчивым при $c(a-b-c) > 0$.

Рецензент: Курбанов И. – д.ф.-м.н., профессор, член корр. НАНП.

Литература

1. Лаврентьев М.Ф., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. М.:Физматгиз, 1958, 678 с.
2. Валеев К.Г. Динамическая стабилизация неустойчивых систем-Изв.Ан СССР, сер. Механика твёрдого тела, 1971, №4, с.13-21.
3. Далецкий Ю.Л., Крейн М.Г. Устойчивость решений дифференциальных уравнений в банаховом пространстве -М.:Наука, 1970, 534 с.
4. Красовский Н.Н. Некоторые задачи теории устойчивости движения.-М.: Физматгиз, 1959, 212 с.
5. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. Собр. соч. в 6-ти т.-м: Л. : Изд-во Ан СССР, 1956, 472 с.
6. Валеев К.Г., Жаутыков О.А., Бесконечные системы дифференциальных уравнений -Алма-Ата: Наука, 1974, 416 с.
7. Валеев К.Г., Финин Г.С. Построение функций Ляпунова -Киев: Наук. думка, 1981, 412 с.
8. Курбаншоев, С. З. Сохтани функсияи Ляпунов барои системаи муодилаҳои фарқии тарафи росташон голоморфӣ / С. З. Курбаншоев, У. Р. Рустамбекова // Паёми политехникӣ. Бахши: Интеллект, Инноватсия, инвеститсия. – 2025. – №. 2(70). – Р. 10-14. – EDN FLNVSC.
9. Рахимов, А. А. Методика использование математического пакета MAPLE 17 при изучении темы "Производная и ее применение" в курсе высшей математики для студентов технического вуза / А. А. Рахимов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 11. – С. 308-313. – EDN DEDOES.

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

TJ	RU	EN
Курбаншоев Сафарали Завкибекович д.и.ф.-м., профессор	Курбаншоев Сафарали Завкибекович д. ф.-м.н., профессор	Kurbanshоеv Safarali Zavkibekovich Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
Донишгоҳи (Славянии) Россияву Тоҷикистон	Российско – Таджикский (Славянский) университет	Russian – Tajik (Slavic) University
E-mail: kurbanshоеv_s@mail.ru		
TJ	RU	EN
Рустамбекова Умеда Рустамбековна н.и.ф.-м., муаллими калон	Рустамбекова Умеда Рустамбековна к.ф.-м.н., старший преподаватель	Rustambekova Umeda Rustambekovna Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior teacher
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: umeda.ru82@mail.ru		

ИЗМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГОРОДЕ ДУШАНБЕ ПРИ ПЫЛЕВОЙ БУРЕ И ПЫЛЕВОЙ МГЛЕ

С.Ф. Абдуллозода¹, В.А. Маслов¹, М.А. Абдуджамилзода², Н.А. Абдурасулова²

¹Физико-технический институт им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана

²Политехнический Институт Таджикского технического Университета имени академика

М.С. Осими в городе Худжанд

В статье приведены результаты измерения вертикального профиля температуры в тропосфере и нижней стратосфере при пылевых вторжениях в г. Душанбе по данным спутникового радиозондирования GDAS1. Рассмотрена характер вертикального распределения температуры воздуха, которые имеют важные значения в контексте продукции воздушной метрологии и в плане обеспечения безопасности полетов авиации. Выявлена зависимость характера вертикального профиля температуры воздуха от размера пылевых аэрозольных частиц оценена точка инверсии знака изменения температуры по высоте.

Ключевые слова: вертикальный профиль, температура воздуха, пылевая буря, пылевая мгла.

ТАҒИЙРЁБИИ ПРОФИЛИ ҲАРОРАТИ ҲАВО ДАР ДУШАНБЕ ҲАНГОМИ ТУФОНИ ЧАНҒИ ВА ҒУБОР

С.Ф. Абдуллозода, В.А. Маслов, М.А. Абдуҷамилзода, Н.А. Абдурасулова

Дар мақола натиҷаҳои ченкунии профили амудии ҳарорати ҳаво дар тропосфера ва стратосфераи поёнӣ ҳангоми воридоти чангӣ дар шаҳри Душанбе тибқи маълумоти маҳвораи радиосанҷиши GDAS1, оварда шудааст. Табиати тақсимои амудии ҳарорати ҳаво, ки аз ҷиҳати маҳсули ченкуноии метрологӣ ва аз ҷиҳати таъмини беҳатарии парвози ҳавопаймоҳо аҳамияти калон дорад, таҳқиқ кард шудааст. Вобастагии табиати профили амудии ҳаво аз андозаи зарраҳои аэрозоли чангӣ ошкор карда шуда, нуктаи табдили аломати тағйирёбии температура вобаста аз баландии сутуни ҳаво баҳо дода шудааст.

Калидвожаҳо: профили амудӣ, ҳарорати ҳаво, тӯфони чангӣ ва ғубор, тумани чангӣ.

TEMPERATURE PROFILE CHANGES IN DUSHANBE CITY DURING DUST STORM AND DUST HAZE

S.F. Abdullozoda, V.A. Maslov, M.A. Abdujamilzoda, N.A. Abdurasulova

The article presents the results of measuring the vertical temperature profile in the troposphere and lower stratosphere during dust invasions in Dushanbe using GDAS1 satellite radiosonde data. The article examines the vertical distribution of air temperature, which is important for air metrology and aviation safety. The article identifies the dependence of the vertical temperature profile on the size of dust aerosol particles and estimates the inversion point of temperature change with altitude.

Keywords: vertical profile, air temperature, dust storm, dust haze.

Центральная Азия расположена в глобальном пылевом поясе, где в атмосфере постоянно перемещаются огромные массы пыли. Ежегодно с апреля по ноябрь воздушные массы, несущие пыль, поднятую в воздух, в основном, в пустынях пылевого пояса, вторгаются на территорию Таджикистана через южные и западные границы страны. В последние годы количество пылевых бурь достигают до 30 эпизодов в год. Пылевые вторжения (пылевые бури и пылевая мгла) наносят значительный ущерб окружающей среде и экономике страны [1]. В период пылевых вторжений горизонтальная дальность видимости иногда уменьшается до 50 м, что создает проблемы для взлета и посадки воздушного транспорта. ПВ создают не только проблемы для взлета и посадки современных самолетов из-за уменьшения видимости, но и из-за изменения уровня и зоны воздействия звукового удара СПС НП при существенных вариациях метеорологических параметров [2,3].

Вертикальным профилям метеорологических параметров в приземном слое воздуха посвящены много работ [4-6]. В последние годы для изучения профилей метеорологических параметров проводятся также измерения с помощью лидара [7-8], в том числе, в азиатском регионе [9-12].

В конце августа и в сентябре 2021 г. в г. Душанбе наблюдались пылевая мгла (26-29 августа, 2021) с относительно мелкими частицами аэрозоля и более прозрачной атмосферой, а затем пылевая буря (9-11.09.2021) с сильными порывами ветра и резким снижением дальности видимости. На рис.1

представлена динамика изменения аэрозольной оптической толщина вертикального столба воздуха (АОТ) в конце августа и в период сентября, измеренная солнечным фотометром CIMEL-318B (Франция) станции AERONET г. Душанбе на полигоне атмосферного мониторинга лаборатории физики атмосферы ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ.

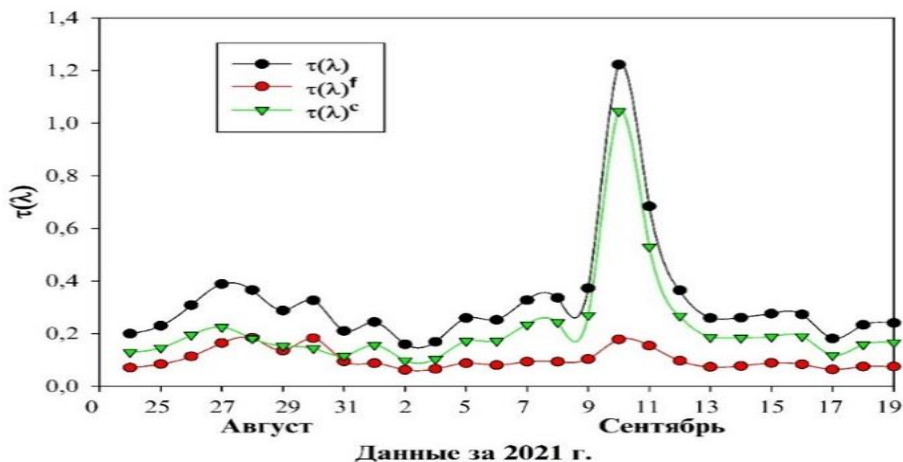


Рисунок 1 – Средние значения вариации общей АОТ - $\tau(\lambda)$, АОТ субмикронной - $\tau(\lambda)^c$, и крупнодисперсной фракции - $\tau(\lambda)^f$, аэрозоля в атмосфере г. Душанбе

Для сравнения выбраны дни с наиболее высокой прозрачностью атмосферы (3.09.2021, АОТ=0.168) и (17.09.2022, АОТ=0.1811) в конце августа и в сентябре, когда в атмосфере висела пылевая дымка, которая практически не исчезает в летне-осенний период.

Разности температур при ПБ и ПМ, вычисленные относительно дней с более прозрачной атмосферой, приведены на рис.2, они позволяют оценить температурный эффект ПЭ. До высот 3,3 км разность температур ниже нуля, затем снижение до уровня минимумов $-6,3^{\circ}\text{C}$ и $-7,5^{\circ}\text{C}$ до высоты 5.07 км. Уровень разность температур для ПМ ($-1,6 \div -2,7$) и ПБ ($-3,2 \div -4,6$) отличается. При ПМ солнечное излучение нагревает поверхность Земли, тепловое излучение Земли в свою очередь нагревает пылевые частицы, и тепло путем радиационного переноса уходит в более высокие слои воздуха. При ПБ часть солнечного излучения рассеивается слоем пыли, другая часть поглощается в нем. Более высокий температурный эффект ПБ связан, скорее всего, с наличием более крупных частиц пыли, более эффективно рассеивающих солнечный свет в слое пыли, причем отраженный от запыленного слоя свет и тепловое излучение нагретых частиц передаются в верхние слои атмосферы. Начиная с середины тропосферы (5км) происходит рост разности температуры.

Как в случае ПБ, так и при ПМ в стратосфере на уровне высоте 16,7км обнаружена максимум разности температуры $6,4^{\circ}\text{C}$. Разность температур между днем ПБ и днем до ПБ в верхней тропосфере имеет максимум ($0,8^{\circ}\text{C}$), а в нижней стратосфере имеется минимум на высоте 14,25км ($-3,4^{\circ}\text{C}$). Разность температур между днем ПБ и днем после ПБ имеет максимум разности в нижней стратосфере на уровне высоте 16,7км ($+6,4^{\circ}\text{C}$). Начиная с уровня 16 км, разность температур остается положительной, но разности температур в день до и после пылевых событий имеют противоположные знаки.

На рис.3 приведен вертикальный профиль разности температуры воздуха в сентябре 2021г. (а), июле 2022г. (б), мае 2023г. (в) и апреле 2023г. (г). Ход разности температур во всех сезонах до уровня средней тропосферы разность температуры почти не изменяется, так как в этом слое имеется пыль. Начиная с верхней части запыленного слоя, разности температуры уменьшаются в сентябре 2021г. (рис.3а), растут в стратосфере до уровней 16 км и вновь уменьшаются в спад; в июле 2023года разности температуры растут в верхней части тропосферы и затем уменьшаются в нижней стратосфере с возрастают до высоты 20 км (рис.3б); в мае 2023г. (рис.3в) и апреле 2023г. (рис.3г) обнаружена подобная картина.

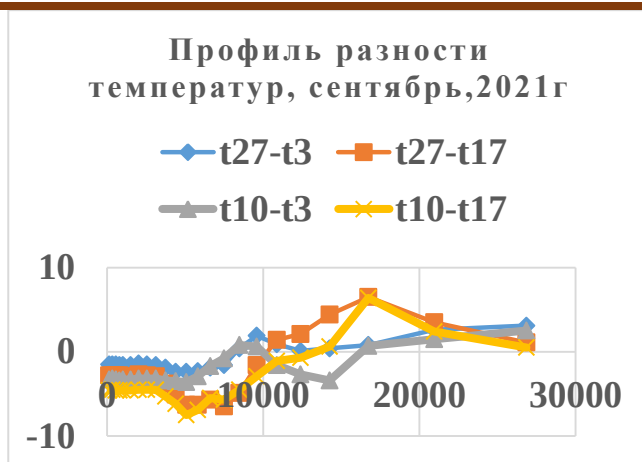


Рисунок 2 – Вертикальный профиль разности температуры воздуха в сентябре 2021г.

Возможно, причиной для обнаруженного отличия хода разности температур в осенний и весенне-летний периоды является отличие метеорологической обстановки в различные сезоны года. В сентябре температура воздуха непосредственно над запыленным слоем более существенно, чем при пылевых эффектах весной и летом, понижается, зато в стратосфере температура повышается. Такое поведение напоминает внезапное потепление стратосферы, наблюдающееся в северных районах, при котором происходит вертикальный конвективный перенос.

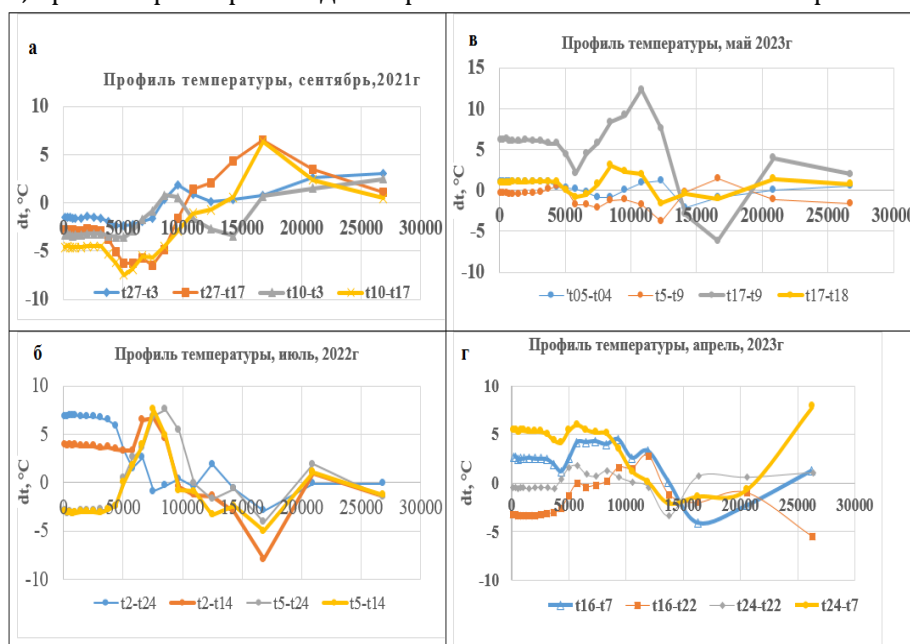


Рисунок 3 – Вертикальный профиль разности температуры воздуха в сентябре 2021г. (а), июле 2022г. (б), мае 2023 г. (в) и апреле 2023г. (г).

Благодарность:

Авторы выражают благодарность сотрудникам Центрального аэрогидродинамического института имени проф. Н.Е. Жуковского в помощь по обсуждению полученных результатов.

Рецензент: Алимов О. – к.ф.-м.н., руководитель ионосферной группы Института астрофизики ИАЭНП.

Литература

1. Советско-американский эксперимент по изучению аридного аэрозоля// под ред. Г.С.Голицына. Обнинск. НПО «Тайфун» 1992. 132с.
2. Чернышев С.Л. Звуковой удар //- Москва:- Наука, -2011, -351с.
3. Chernyshev S.L. A review of Russian computer modeling and validation in aerospace applications // <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2021.100766> .

4. Вязанкин А.С. и др. Анализ вертикального распределения температуры в пограничном слое атмосферы в пригороде и мегаполисе // Метеорол. и гидрол. -2003. -№ 7. - С. 5-12.
5. Raju A., ParekhA.,ChowdaryJ.S.Impact of satellite-retrieved atmospheric temperature profiles assimilation on Asian summer monsoon 2010 simulation //Theoret.Appl.Climatol. 2013. - V.116. - P.317–326.DOI:10.1007/s00704-013-0956-3
6. Zhang K., Zhang E.,Fu D.,Silcock Y., Wang, Y. KuleshovAn investigation of atmospheric temperature profiles in the Australian region using collocated GPS radio occultation and radiosonde data // -AtmosMeasur Tech. - 2011.- V.4(10). – Pp.2087–2092. -DOI:10.5194/amt-4-2087-2011
7. Зуев, В.В.,Романовский О.А.Возможности лидарного зондирования метеопараметров атмосферы в видимом диапазоне// Журнал прикладной спектроскопии. -1986. -Т.45. -№ 6. -С. 998 - 1003.
8. Матвиенко Г.Г.,БалинЮ.С., БобровниковС.М. и др. «Сибирская лидарная станция: аппаратура и результаты» (под редакцией Матвиенко Г.Г.) //- Томск. Изд-во ИОА СО РАН. - 2016. -440 с.
9. Hofer J., AlthausenD.,AbdullaevS.F., et al. Long-term profiling of mineral dust and pollution aerosol with multiwavelength polarization Raman lidar at the Central Asian site of Dushanbe, Tajikistan: case studies// - Atmos. Chem. Phys. 2017. V.17. P.14559-14577, <https://doi.org/10.5194/acp-17-14559-145772017> .
10. Ansmann A., MamouriR.E, HoferJ., BaarsH.,Althausen D. and AbdullaevS.F.Dust mass, CCN, and INP profiling with polarization lidar: Updated POLIPHON conversion factors from global AERONET analysis// -Atmos. Meas. Tech.- 2019. -V.12. - P.4849–4865, <https://doi.org/10.5194/amt-12-4849-2019>
11. Hofer J.,AnsmannA., AlthausenD.,Engelmann R., HararsK, AbdullaevS.F. and Makhmudov A N. Long-term profiling of aerosol light extinction, particle mass, cloud condensation nuclei, and ice-nucleating particle concentration over Dushanbe, Tajikistan, in Central Asia//Atmos. Chem. Phys.- 2020.- V.20. -P.4695–4711, <https://doi.org/10.5194/acp-20-4695-2020>.
12. Адсорбционные свойства сушеных клубней топинамбура / М. М. Анакулов, М. Т. Розикова, М. М. Сафаров, М. Д. Пирмадов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 2(50). – С. 13-15. – EDN ARTYUZ.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-AUTHORS BACKGROUND

TJ	RU	EN
Абдуллозода Сабур Фузайл	Абдуллозода Сабур Фузайл	Abdullozoda Sabur Fuzayl
д.и.ф.-м., профессор	д.ф.-м.н., профессор	Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
Институти физикӣ-техники ба номи С.У. Умарови АМИТ	Физико-технический Институт имени С.У. Умарова НАНТ	PhTI named after S.U.Umarov
E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com ORCID: 0000-0003-3468-6939		
TJ	RU	EN
Маслов Владимир Анатолевич	Маслов Владимир Анатолевич	Maslov Vladimir Anatolevich
Ходими пешбари илмӣ	Ведущий научный сотрудник	Leader Scientist
Институти физикӣ-техники ба номи С.У. Умарови АМИТ	Физико-технический Институт имени С.У. Умарова НАНТ	PhTI named after S.U.Umarov
E-mail: vamaslov@inbox.ru		
Абдучамизода Мафтуна Абдучамил	Абдуджамизода Мафтуна Абдуджамил	Abdujamilzoda Maftuna Abdujamil
Донишкдаи политехникии ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	Политехнический Институт Таджикского технического Университета им. академика М.С. Осими	Polytechnical Institute of TTU named after academician M.S. Osimi
Докторанти PhD	Докторант PhD	PhD student
E-mail: maftuna_02.96@mail.ru		
TJ	RU	EN
Абдурасулова Наргис Анваровна	Абдурасулова Наргис Анваровна	Aburasulova Nargis Anvarovna
Ходими калони илмӣ	Старший научный сотрудник	Senior Scientist
Институти физикӣ-техникии ба номи С.У. Умарови АМИТ	Физико-технический Институт имени С.У. Умарова НАНТ	PhTI named after S.U.Umarov
E-mail: nargisjon@inbox.ru		

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

УДК 621.39

DOI: 10.65599/III4735

МОНИТОРИНГ И ОПТИМИЗАЦИЯ УРОВНЯ RTWP КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Б.Б. Саидов, Д.А. Анварзода, Ф.Р. Азизуллоев, В.Т. Бехбудов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В работе исследуется влияние уровня широкополосной принимаемой мощности RTWP (Received Total Wideband Power) на характеристики функционирования восходящего канала сетей мобильной связи. Особое внимание уделено взаимосвязи между RTWP, отношением сигнал/шум и интерференции (SINR), а также показателями пропускной способности и устойчивости радиоканала. В статье представлен глубокий анализ радиоинтерфейса, основанный на наблюдении за параметрами базовой станции и динамикой суммарной широкополосной мощности принимаемого сигнала (RTWP). Исследование, опирающееся на экспериментальные данные, выявляет воздействие помех на критически важные сетевые метрики и оценивает действенность мер по их нейтрализации. Автор выдвигает гибридную стратегию мониторинга, которая объединяет автоматизированный анализ ключевых показателей эффективности сети (KPI) с инструментальным радиомониторингом. Таким образом, экспериментальное исследование показывает, что мониторинг RTWP служит наиболее показательным методом для своевременной диагностики качества обслуживания в актуальных беспроводных сетях.

Ключевые слова: RTWP, интерференция, мобильная связь, SINR, пропускная способность, IRC, радиомониторинг, помехоустойчивость.

МОНИТОРИНГ ВА ОПТИМИЗАЦИЯ САТӢ RTWP ӲАМЧУН УСУЛИ БАЛАНД БАРДОШТАНИ УСТУВОӢ ВА ХАЛАЛ ВА ҚОБИЛИЯТИ ГУЗАРИШИ ШАБАҚАҲОИ АЛОҚАИ МОБИЛӢ

Б.Б. Саидов, Д.А. Анварзода, Ф.Р. Азизуллоев, В.Т. Бехбудов

Дар кори мазкур таъсири сатҳи қувваи умумии қабулшудаи фарохмаҷро RTWP (Received Total Wideband Power) ба хусусиятҳои фаъолияти канали болоравандаи шабақаҳои алоқаи мобилӣ таҳқиқ карда мешавад. Диққати асосӣ ба робитаи байни нишондиҳандаи RTWP, таносуби сигнал ба садо ва интерференсия, инчунин ба нишондиҳандаҳои қобилияти гузарониши канал ва устувории радиоканал равона гардидааст. Дар мақола таҳлили муфассали радиоинтерфейс пешниҳод шудааст, ки ба мушоҳидаи параметрҳои истоҳи базавӣ ва динамикаи қувваи умумии сигнали фарохмаҷроӣ қабулшуда асос ёфтааст. Таҷқиқот, ки ба маълумоти таҷрибавӣ тақвият меёрад, таъсири интерференсияро ба нишондиҳандаҳои муҳими шабақа муайян намуда, самаранокии ҷораҳои қоҳиш додани таъсири онҳоро арзёбӣ мекунад. Муаллиф стратегияи гибридии мониторингро пешниҳод менамояд, ки таҳлили автоматиконидашудаи нишондиҳандаҳои асосии самаранокии шабақаро бо радиомониторинги инструменталӣ муттаҳид месозад. Ҳамин тавр, натиҷаҳои таҷқиқоти таҷрибавӣ нишон медиҳанд, ки назорати нишондиҳандаи RTWP метавонад ҳамчун яке аз усулҳои нишондиҳандаи муҳим барои таҳлили саривақтии сифати хизматрасонӣ дар шабақаҳои муосири бесим истифода шавад.

Калидвожаҳо: RTWP, интерференсия, алоқаи мобилӣ, SINR, қобилияти гузариш, радиомониторинг, устуворӣ ба ҳалал.

MONITORING AND OPTIMIZATION OF THE RTWP LEVEL AS A METHOD FOR IMPROVING INTERFERENCE IMMUNITY AND CAPACITY OF MOBILE COMMUNICATION NETWORKS

B.B. Saidov, D.A. Anvarzoda, F.R. Azizulloev, V.T. Bekhbudov

This study investigates the influence of the Received Total Wideband Power (RTWP) level on the performance characteristics of the uplink channel in mobile communication networks. Particular attention is given to the relationship between RTWP, the signal-to-interference-plus-noise ratio, and the indicators of channel capacity and radio link stability. The paper presents a detailed analysis of the radio interface based on the observation of base station parameters and the temporal dynamics of the received total wideband power (RTWP). The study, relying on experimental data, identifies the impact of interference on critical network performance metrics and evaluates the effectiveness of mitigation measures. The author proposes a hybrid monitoring strategy that integrates automated analysis of key network performance indicators with instrumental radio monitoring. The experimental results demonstrate that RTWP monitoring can serve as one of the most informative methods for timely diagnostics of service quality in modern wireless communication networks.

Keywords: RTWP, interference, mobile communication, SINR, throughput capacity, IRC, radio monitoring, interference immunity.

Введение

Развитие сетей мобильной связи третьего и четвертого поколений сопровождается устойчивым ростом объема передаваемых данных и плотности абонентских устройств. В условиях

ограниченного радиочастотного ресурса даже незначительные отклонения параметров радиоэфира способны существенно повлиять на качество предоставляемых услуг [1-5]. Одним из ключевых индикаторов состояния восходящего канала является показатель Received Total Wideband Power (RTWP), отражающий суммарную мощность сигналов и шумов, принимаемых базовой станцией в рабочей полосе частот.

RTWP представляет собой интегральную характеристику, включающую полезные сигналы абонентских терминалов, тепловой шум оборудования, промышленные помехи, а также излучения сторонних или некорректно функционирующих радиоэлектронных устройств [6-10]. Изменение данного параметра напрямую связано с энергетическим балансом восходящей линии связи и оказывает влияние на устойчивость радиоканала.

Повышение уровня RTWP приводит к уменьшению отношения сигнал/интерференция+шум (SINR), что, в свою очередь, снижает эффективность использования радиоресурса. В практическом аспекте это выражается в переходе системы на более устойчивые, но менее производительные схемы модуляции и кодирования, увеличении вероятности ошибок передачи и падении пропускной способности. Кроме того, рост шумового фона вызывает так называемый эффект «дыхания соты», при котором радиус обслуживания уменьшается вследствие ограничения бюджета мощности восходящего канала.

Современные базовые станции оснащаются алгоритмами пространственной и цифровой обработки сигналов, в том числе механизмом Interference Rejection Combining (IRC), предназначенным для подавления направленных помех [10-12]. Однако их возможности ограничены динамическим диапазоном приемного тракта и физическими характеристиками антенной системы [13-17]. При существенном превышении допустимого уровня шума программные методы оказываются недостаточными, что требует проведения инструментального радиомониторинга и устранения источника интерференции на физическом уровне.

На практике диагностика ухудшения качества сети часто начинается с анализа вторичных показателей — скорости передачи данных, уровня ошибок или доступности сервиса. Тем не менее первопричиной деградации нередко является именно рост широкополосной мощности в восходящем канале. В этой связи систематический контроль RTWP может рассматриваться как эффективный инструмент раннего выявления неблагоприятных изменений радиочастотной обстановки.

Актуальность данного исследования определяется необходимостью разработки комплексного подхода к мониторингу и оптимизации RTWP с целью обеспечения стабильной работы сетей мобильной связи. Особое внимание уделяется оценке пороговых значений, при которых влияние интерференции становится критическим для пропускной способности и покрытия соты.

Таким образом, анализ взаимосвязи между уровнем RTWP, показателями качества канала и фактической производительностью сети представляет как научный интерес, так и практическую значимость для повышения надежности и эффективности функционирования мобильных систем связи.

Теоретические основы влияния RTWP на пропускную способность сети

В системах мобильной связи эффективность передачи данных в восходящем канале определяется энергетическим соотношением между полезным сигналом абонента и суммарным уровнем шума и интерференции на входе приемника базовой станции [16]. Показатель RTWP (Received Total Wideband Power) отражает совокупную широкополосную мощность, принимаемую в рабочем диапазоне частот, и тем самым характеризует общий шумовой фон восходящего канала. Связь RTWP и отношения SINR. Качество радиоканала традиционно описывается через отношение сигнал/интерференция+шум:

$$SINR = \frac{P_s}{P_i + P_n} \quad (1)$$

где

P_s — мощность полезного сигнала,

P_i — мощность интерференции,

P_n — тепловой шум приемного тракта.

RTWP, по сути, представляет сумму $P_s + P_i + P_n$, измеряемую на входе приемника. При увеличении доли P_i общий уровень RTWP возрастает, однако полезная составляющая при этом не увеличивается пропорционально. В результате снижается SINR, что напрямую влияет на эффективность модуляции и кодирования.

Следует подчеркнуть, что влияние RTWP носит нелинейный характер. Даже увеличение шумовой мощности на 3 дБ означает удвоение энергетической составляющей помех, что приводит к заметному снижению запаса устойчивости канала.

Пропускная способность и зависимость от SINR. Теоретический предел скорости передачи данных определяется формулой Шеннона:

$$C = B \cdot \log_2(1 + \text{SINR}) \quad (2)$$

где

C — пропускная способность,

B — ширина полосы частот.

Из данного выражения следует, что уменьшение SINR приводит к логарифмическому снижению скорости передачи. Однако в реальных сетях влияние оказывается ещё более выраженным из-за дискретного характера адаптивной модуляции и кодирования (AMC).

В LTE при высоком SINR используются схемы 64QAM или 16QAM с высоким кодовым коэффициентом. При ухудшении условий система переходит к QPSK с более сильным кодированием. Такой переход уменьшает спектральную эффективность в несколько раз. Следовательно, рост RTWP опосредованно снижает максимально достижимый индекс MCS, что приводит к падению фактической пропускной способности.

Влияние RTWP на управление мощностью. Восходящий канал LTE и UMTS использует механизм замкнутого регулирования мощности. Абонентское устройство увеличивает передаваемую мощность для компенсации потерь в канале и поддержания требуемого уровня сигнала на стороне базовой станции.

При повышенном RTWP базовая станция воспринимает полезный сигнал как менее различимый на фоне шума. В ответ система управления мощностью увеличивает передаваемую мощность UE. Это приводит к росту энергопотребления терминала; ускоренному разряду аккумулятора; дополнительной нагрузке на усилители; увеличению внутрисотовой интерференции. Таким образом, формируется отрицательная обратная связь: рост RTWP вызывает увеличение мощности передачи абонентов, что дополнительно повышает общий уровень шума в соте.

Энергетический бюджет восходящего канала. Энергетический баланс (Uplink Budget) можно представить в упрощённом виде:

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{path} + G_{ant} - L_{misc} \quad (3)$$

где

P_{RX} — принимаемая мощность,

P_{TX} — передаваемая мощность UE,

L_{path} — потери распространения,

G_{ant} — усиление антенны,

L_{misc} — дополнительные потери.

При фиксированной максимальной мощности UE увеличение RTWP уменьшает допустимый запас по уровню сигнала. В результате абоненты, находящиеся на границе соты, теряют возможность поддерживать устойчивое соединение. Это проявляется в уменьшении радиуса покрытия — так называемом «дыхании соты».

Если RTWP возрастает на 20 дБ, эквивалентный запас по дальности связи сокращается в несколько раз, поскольку потери распространения увеличиваются логарифмически с расстоянием. Ограничения приемного тракта и динамический диапазон. При значительном повышении RTWP может происходить частичное насыщение малошумящего усилителя (LNA) и последующих каскадов

приемника. В этом случае ухудшается линейность тракта; возрастает интермодуляционная составляющая; снижается эффективность цифровой обработки сигнала.

Даже при наличии алгоритмов пространственной фильтрации (например, IRC) перегруженный входной тракт не позволяет корректно выделить полезную составляющую. Это определяет практический предел компенсационных методов.

Критические пороговые значения. Эксплуатационная практика показывает, что для макросотовых конфигураций номинальный уровень RTWP находится в диапазоне $-105...-100$ дБм. Повышение до -90 дБм уже сопровождается заметным ухудшением KPI. При достижении уровней порядка -85 дБм и выше наблюдается: существенное снижение индекса MCS; рост BLER; резкое падение скорости восходящей передачи.

При дальнейшем увеличении до -75 дБм система фактически переходит в режим деградации, при котором программные методы компенсации оказываются недостаточными.

Таким образом, RTWP является фундаментальным параметром, определяющим энергетический баланс восходящего канала; уровень SINR; выбор схемы модуляции и кодирования; радиус покрытия соты; фактическую пропускную способность сети.

Контроль и оптимизация RTWP позволяют воздействовать не только на локальные показатели качества, но и на общую емкость радиосети. Теоретический анализ подтверждает, что даже относительно небольшое увеличение широкополосного уровня шума приводит к каскадному ухудшению характеристик канала, что обосновывает необходимость его постоянного мониторинга и своевременного реагирования.

Методика экспериментального исследования

Экспериментальное исследование было направлено на выявление количественной зависимости между уровнем RTWP и деградацией ключевых показателей радиосети. Для этого применялся комплексный подход, включающий анализ статистики базовой станции, активные измерения на стороне абонентского оборудования и инструментальный радиомониторинг.

Исследование проводилось в два этапа: период повышенного уровня интерференции; период после устранения источника помехи.

Такое разделение позволило сопоставить параметры сети в условиях ухудшенного и нормализованного радиоэфира при неизменной конфигурации оборудования.

На рисунке 1 представлена временная зависимость среднего значения показателя RTWP, характеризующего суммарную мощность принимаемого широкополосного сигнала в восходящем канале базовой станции. Данный параметр является важным индикатором уровня интерференции и загрузки радиоканала в системах мобильной связи. График демонстрирует изменения показателя Mean RTWP для нескольких секторных ячеек базовой станции в течение наблюдаемого интервала времени. Различные цветные кривые отражают значения параметра для отдельных секторов, что позволяет провести сравнительный анализ их радиочастотной обстановки. По оси абсцисс отложено время измерений, а по оси ординат – уровень принимаемой мощности сигнала, выраженный в децибелах относительно милливатта (dBm). Анализ графика показывает периодические колебания значения RTWP, что может быть связано с изменением количества активных пользовательских устройств, динамикой сетевой нагрузки и воздействием межсотовой интерференции. Повышение уровня RTWP обычно свидетельствует об увеличении суммарной мощности принимаемых сигналов, что может быть вызвано ростом трафика или появлением дополнительных источников помех. Снижение данного показателя, напротив, указывает на уменьшение активности абонентов или улучшение радиочастотных условий.

Полученные данные могут использоваться для оценки эффективности работы базовой станции, выявления перегрузок радиоинтерфейса и оптимизации параметров сети. Мониторинг показателя RTWP является важным элементом управления качеством обслуживания в современных системах мобильной связи, включая сети третьего и последующих поколений.

Долгосрочный мониторинг состояния сектора. Для анализа устойчивых изменений радиоэфира проводился многодневный мониторинг двух секторов базовой станции.

Временная динамика показателя Mean RTWP, отражающего суммарную мощность принимаемого широкополосного сигнала в восходящем канале базовой станции мобильной сети. Данный параметр широко используется для оценки уровня радиочастотного шума, интерференции и общей загрузки радиоинтерфейса.

Результаты сравнительного анализа и обсуждение результатов

Сравнительный анализ проводился на основе данных, полученных в два различных периода функционирования сети: при наличии устойчивой интерференции и после её устранения. Для обеспечения корректности выводов использовались средние значения параметров за сопоставимые временные интервалы при сходной нагрузке абонентов.

Исследование показало, что изменение уровня RTWP оказывает комплексное влияние не только на энергетические параметры канала, но и на поведение системы адаптации модуляции, управление мощностью и фактическую ёмкость соты.

Изменение энергетических параметров. В таблице 1 представлены усреднённые значения основных радиопараметров до и после устранения источника помехи.

Таблица 1 — Энергетические показатели восходящего канала

Параметр	Состояние при интерференции	Состояние после устранения	Изменение
Средний RTWP	−82...−75 дБм	−105...−98 дБм	Снижение на 20–25 дБ
Средний SINR	0...3 дБ	12...18 дБ	Рост более чем в 4 раза
Передаваемая мощность UE	Близка к максимальной	Адаптивная	Снижение нагрузки
Запас по Uplink Budget	Минимальный	Нормативный	Восстановление

Снижение RTWP более чем на 20 дБ привело к значительному росту SINR. В логарифмической шкале подобное изменение означает многократное улучшение энергетического соотношения сигнал/шум.

Влияние на модуляцию и пропускную способность. Изменение энергетического баланса отразилось на выборе схем модуляции и кодирования.

Таблица 2 — Параметры пользовательской передачи данных

Показатель	Интерференция	Чистый эфир	Относительное изменение
Схема модуляции	QPSK	16QAM/ 64QAM	Повышение спектральной эффективности
Индекс MCS	Низкий	Средний/ Высокий	Увеличение
Скорость UL	0.1–0.2 Мбит/с	3–5 Мбит/с	Рост в 15–30 раз
BLER	15–20 %	< 1 %	Существенное снижение
Задержка передачи	Повышенная	Стабильная	Нормализация

При повышенном RTWP система переходила к наиболее устойчивой, но низкоэффективной модуляции QPSK. После устранения интерференции стало возможным использование 16QAM и 64QAM, что обеспечило кратный рост пропускной способности.

Особенно показательным является снижение BLER: уменьшение ошибок передачи свидетельствует о восстановлении стабильности радиоканала.

Изменение зоны покрытия. Рост RTWP в период интерференции сопровождался ограничением радиуса обслуживания. Абоненты на границе соты вынуждены были работать на максимальной мощности, что не всегда обеспечивало устойчивое соединение.

Таблица 3 — Влияние на радиус покрытия

Параметр	При повышенном RTWP	После нормализации
Радиус уверенного UL	Существенно сокращён	Восстановлен
Доля абонентов на границе	Высокая вероятность обрыва	Стабильная связь
Повторные передачи (HARQ)	Частые	Редкие

Расчётный анализ энергетического бюджета показал, что снижение шумового уровня на 20 дБ эквивалентно значительному увеличению допустимых потерь распространения, что практически означает расширение зоны покрытия в 2–3 раза по площади.

Системный эффект для соты. Помимо индивидуальных пользовательских параметров были проанализированы показатели на уровне сектора.

Таблица 4 — KPI сектора

KPI	До устранения	После устранения	Тенденция
Средний UL Throughput сектора	Низкий	Увеличился в несколько раз	Положительная
Доступность сервиса	Снижена	Нормализована	Восстановление
Уровень повторных подключений	Повышенный	Стабильный	Снижение
Нагрузка на усилители	Максимальная	Номинальная	Снижение

Комплексный анализ показал, что интерференция влияет не только на скорость передачи данных, но и на устойчивость соединений и общую ёмкость сектора.

Дополнительное исследование динамики. Для подтверждения результатов были сопоставлены временные изменения RTWP с динамикой SINR и Throughput. Установлена выраженная обратная зависимость: при росте RTWP наблюдается линейное снижение SINR и нелинейное падение пропускной способности.

Корреляционный анализ показал высокую степень взаимосвязи между RTWP и скоростью восходящей передачи, что подтверждает фундаментальную роль широкополосного шумового уровня в формировании ёмкости сети.

Проведённое исследование позволяет сделать следующие обобщения:

1. Повышение RTWP более чем на 15–20 дБ приводит к системной деградации параметров сети.
2. Основной негативный эффект проявляется в снижении SINR и переходе к низкоэффективным схемам модуляции.
3. Алгоритмические методы частично компенсируют помеху, однако при высоком уровне шума их возможности ограничены.
4. Физическое устранение источника интерференции обеспечивает восстановление пропускной способности, радиуса покрытия и стабильности соединений.

Таким образом, результаты сравнительного анализа подтверждают прямую зависимость между уровнем RTWP и фактической производительностью сетей мобильной связи, что подчёркивает необходимость постоянного мониторинга данного параметра и оперативного реагирования при его аномальном росте.

Алгоритм IRC и предел его эффективности

Алгоритм Interference Rejection Combining (IRC) применяется в приёмных трактах базовых станций мобильной связи для повышения устойчивости восходящего канала в условиях интерференции. Его основная задача заключается в пространственно-временной фильтрации входного сигнала с использованием информации о канале и статистике шума. В отличие от простого суммирования сигналов с антенн IRC выполняет взвешенную обработку, направленную на подавление помеховых составляющих.

Принцип работы IRC. В многоантенной системе входной сигнал можно представить в виде векторной модели:

$$y = hs + i + n \quad (4)$$

где

h — вектор канала,

s — полезный сигнал,

i — интерференция,

n — шум.

Алгоритм формирует весовой вектор:

$$w_{IRC} = R_{i+n}^{-1} h \quad (5)$$

где R_{i+n} — ковариационная матрица шума и помех.

Полученный вектор используется для линейной комбинации сигналов с антенн таким образом, чтобы усилить полезную компоненту и минимизировать вклад интерференции. Фактически система формирует «нулевые направления» в сторону источников шума, снижая их влияние на принимаемый сигнал.

Практическая эффективность алгоритма. В условиях умеренной интерференции IRC демонстрирует значительный выигрыш по SINR (обычно 2–6 дБ в зависимости от конфигурации MIMO). Это позволяет: удерживать более высокий индекс MCS; снижать BLER; поддерживать стабильную скорость передачи.

Однако эффективность метода зависит от нескольких факторов: Корректность оценки ковариационной матрицы. При быстроменяющихся условиях точность оценки снижается. Количество антенн. Чем больше приёмных элементов, тем выше потенциал пространственного подавления. Характер помехи. Направленные или узкополосные сигналы подавляются эффективнее, чем широкополосные.

Пределы применимости IRC. Несмотря на высокую математическую эффективность, алгоритм имеет физические ограничения. 1. Динамический диапазон приёмника. При значительном росте RTWP (например, до –75 дБм) входные каскады могут приближаться к режиму насыщения. В этом случае цифровая обработка уже не способна компенсировать искажения. 2. Широкополосная интерференция. Если источник излучает сигнал по всей полосе частот, ковариационная матрица становится близкой к диагональной, и формирование пространственных «нулей» теряет эффективность. 3. Высокая корреляция помех. При совпадении спектральных и временных характеристик помехи с полезным сигналом алгоритм теряет селективность. 4. Ограниченность вычислительных ресурсов. Инверсия ковариационной матрицы требует вычислительных затрат, что может ограничивать частоту обновления параметров.

Экспериментальные данные показали, что при превышении RTWP порога порядка –85 дБм выигрыш от IRC становится недостаточным для сохранения высокой пропускной способности. При дальнейшем росте шума алгоритм продолжает работать, но его вклад в улучшение SINR становится несущественным по сравнению с общим уровнем перегрузки тракта.

Таблица 5 — Сравнительный эффект при разных уровнях RTWP

Уровень RTWP	Состояние канала	Эффект IRC
–105...–95 дБм	Номинальный	Повышение устойчивости
–95...–85 дБм	Умеренная помеха	Частичная компенсация
–85...–75 дБм	Критическая зона	Ограниченный выигрыш
Выше –75 дБм	Перегрузка тракта	Практически неэффективен

Таким образом, IRC следует рассматривать как инструмент оптимизации в пределах допустимого шумового диапазона, а не как универсальное средство устранения сильной интерференции.

Блок-схема работы алгоритма IRC. Ниже приведена концептуальная блок-схема обработки сигнала с применением IRC.

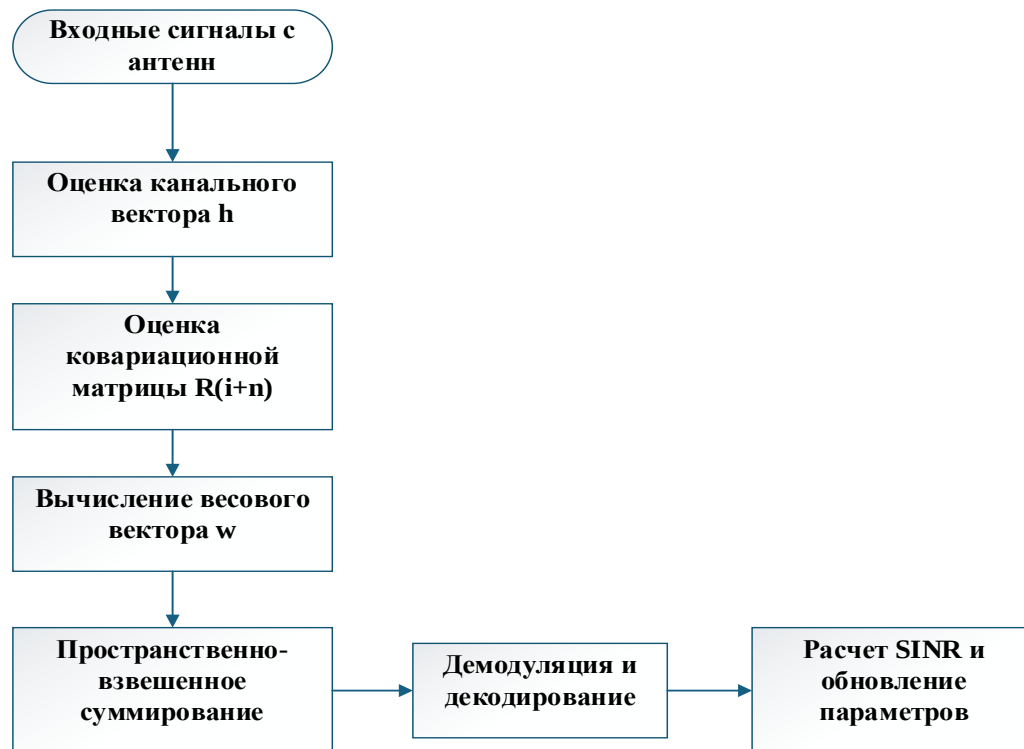


Рисунок 3 – Концептуальная блок-схема обработки сигнала с применением IRC

Анализ показал, что IRC является эффективным инструментом повышения помехоустойчивости при умеренном уровне интерференции. Однако при существенном превышении пороговых значений RTWP его возможности ограничиваются физическими характеристиками приемного тракта.

Следовательно, в условиях устойчиво повышенного широкополосного шума требуется переход от исключительно алгоритмических методов к физическому поиску и устранению источника интерференции. Комплексный подход обеспечивает более стабильную и предсказуемую работу сети по сравнению с попытками компенсировать мощную помеху исключительно средствами цифровой обработки сигнала.

Заключение

Настоящая работа посвящена изучению влияния уровня принимаемой общей широкополосной мощности на производительность восходящего канала связи, в частности на его стабильность и пропускную способность. Исследование выявило корреляцию между уровнем широкополосного шума и качеством радиосвязи. В качестве решения для минимизации рисков снижения качества обслуживания при возникновении помех на ранних стадиях, автор обосновывает внедрение гибридной системы мониторинга. Автор выдвигает гибридную стратегию мониторинга, которая объединяет автоматизированный анализ ключевых показателей эффективности сети с инструментальным радиомониторингом. Таким образом, экспериментальные исследования показывают, что мониторинг RTWP служит наиболее показательным методом для своевременной диагностики качества обслуживания в актуальных беспроводных сетях.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности применения предложенных подходов при эксплуатации и оптимизации радиосетей, что способствует повышению их надёжности, эффективности использования спектра и качества обслуживания абонентов.

Рецензент: Хасанов Дж.Р. – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и цифровой экономики ИЦПТУИ, МУПТЭП.

Литература

1. Петровых В.В. Исследование влияния структуры нейронной сети на параметры прогноза ограниченного по полосе радиотехнического сигнала // ЮУрГУ. - 2016. - С. 73.
2. Саидов Б.Б. Разработка модели мультидиэлектрической осевой антенны для передачи и приема информации / Б.Б. Саидов, И. Саъдулло, Д.А. Абдурасулов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 3(67). – С. 42-48.
3. Dmitri M., Eduard S., Vyacheslav B., Andrey S., Yevgeni K., and Konstantin S. A Tutorial on Mathematical Modeling of 5G/6G Millimeter Wave and Terahertz Cellular Systems / M. Dmitri, S. Eduard, B. Vyacheslav, S. Andrey, K. Yevgeni, and S. Konstantin // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – P. 1-46.
4. Saidov, B.B. Opto-ultrasonic communication channels / B.B. Saidov, V.F. Telezhkin. // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics. – 2020. – Vol. 20. – no.4. – pp. 55-62.
5. Telezhkin, V. Recognition and Elimination of Anomalies in Information Leakage Channels in Opto-Ultrasonic Communication Channels in Data Streams of Industrial Automated Systems / V. Telezhkin, B. Saidov, A. Ragozin // Proceedings – 2021 International Russian Automation Conference. – 2021. – P. 201-206.
6. Saidov, B.B. Development of Equipment for Experimental Study of Digital Algorithms in Nonstationary Signal Processing Problems / B.B. Saidov, V.F. Telezhkin, N.N. Gudaev [et al.] // Ural Radio Engineering Journal. – 2022. – Vol. 6. – no. 2. – P. 186-204.
7. Sakib, S. A Deep Learning Method for Predictive Channel Assignment in Beyond 5G Networks. / S. Sakib, T. Tazrin, M.M. Fouda, Z.M. Fadlullah and N. Nasser // in *IEEE Network*, – vol. 35. – no. 1. – pp. 266-272.
8. Arfaoui, A. Context-Aware Adaptive Remote Access for IoT Applications / A. Arfaoui, // *IEEE Internet of Things J.*, vol. 7, no. 1, Jan. 2020, pp. 786–99.
9. Fabio D.L. 5G cascaded channel estimation using convolutional neural networks / D.L. Fabio, S. Hugerles, S.R. Oliveira // *Digital Signal Processing* Vol. - 126. – 2022- P. 103483
10. Ning, L. An efficient combined deep neural network based malware detection framework in 5G environment / L. Ning, L. Dan, Sh. Wenbo, V. Pandi, P. Francesco, C. Victor // *Computer Networks*. Vol. 189. - 2021, P. 107932.
11. Telezhkin, V. Recognition and Elimination of Anomalies in Information Leakage Channels in Opto-Ultrasonic Communication Channels in Data Streams of Industrial Automated Systems / V. Telezhkin, B. Saidov A. Ragozin // Proceedings – 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., – 2021. – P. 201-206.
12. Saidov, B. Simulation of ultrasonic sensor at lower ultrasonic range in data transmission / B. Saidov, V. Telezhkin // Proceedings - 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021. – 2021. – P. 703-707.
13. Saidov, B. Transformation of the Amplitude-Modulated Spectrum of a Signal on a Nonlinear Element / B. Saidov V. Telezhkin // Proceedings – 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020. – 2020. – P. 757-761.
14. Саидов, Б. Б. Методы и результаты экспериментально-теоретического исследования систем связи 5G / Б. Б. Саидов, И. Саъдулло, Н. Б. Хусейнзода // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 23-27. – DOI 10.65599/QFAC8409. – EDN MWRMSY.
15. Саидов, Б. Б. Применение нейросетевых методов прогнозирования радиосигналов в интеллектуальных системах связи 5G / Б. Б. Саидов, И. Саъдулло, Н. Б. Хусейнзода // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 28-38. – DOI 10.65599/BCWW3084. – EDN IGVLAЕ.
16. Telezhkin V. Prediction of signals in control systems based on fuzzy time series / V. Telezhkin, A. Ragozin, B. Saidov // Proceedings – 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021. – 2021. – P. 950–954.

17. Каюмов, М. М. О цифровом портрете текстовой информации, основанном на частотности знаков пунктуации / М. М. Каюмов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 1(45). – С. 20-23. – EDN KZFCVN.

18. Саидов, Б. Б. Разработка модели мультидиэлектрической осевой антенны для передачи и приема информации / Б. Б. Саидов, И. Саъдулло, Д. А. Абдурасулов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 3(67). – С. 42-48. – EDN ZRZMVE.

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

TJ	RU	EN
Саидов Бехруз Бадридинович	Саидов Бехруз Бадридинович	Saidov Behruz Badridinovich
н.и.т.	к.т.н	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: matem.1994@mail.ru		
ORCID: 0000-0002-1200-7096		
TJ	RU	EN
Анварзода Далер Анвар	Анварзода Далер Анвар	Daler Anvarzoda Anvar
н.и.т.	к.т.н	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: daler@ttu.tj		
ORCID: 0000-0003-1102-8140		
TJ	RU	EN
Азизуллоев Фозил Раҳимуллоевич	Азизуллоев Фозил Раҳимуллоевич	Azizulloev Fozil Rahimulloevich
Магистрант	Магистрант	
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: Fozil-8989@mail.ru		
ORCID: 0000-0002-2100-0419		
TJ	RU	EN
Бехбудов Вафочон Тағоймуродович	Бехбудов Вафочон Тағоймуродович	Behbudov Vafojon Tagoymurodovich
Магистрант	Магистрант	Master student
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: Behbudovvafo@yandex.ru		
ORCID: 0000-0003-0506-3396		

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ПОСТОЯННЫМИ И ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

У.Х. Джалолов, Р.М. Бандишоева, М.А. Бадалова, Ш.Ё. Холов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Статья посвящена исследованию проблемы параметрической идентификации управляемых динамических систем в режиме их нормальной работы с использованием модели с настраиваемыми параметрами, сформированные на базе метода интегральной модуляции. Особенность работы заключается в придании процедуре идентификации адаптивных свойств, что позволяет минимизировать негативное влияние «раскачивания» контролируемого объекта при изменении его параметров. Для многих технологических процессов (ТП) (старение катализаторов в химической технологии, износ мелющих тел в мелющих агрегатах, изменение слоя покрытия во вращающихся печах) параметры моделей изменяются неконтролируемым образом во времени в широком диапазоне. Это приводит к необходимости текущей идентификации объектов управления (ОУ) с целью реструктуризации параметров регуляторов. Перспективой решения проблемы является разработка надежных методов для автоматического расчета параметров систем идентификации. Учитывая современные тенденции, такие методы могут быть ориентированы на использование компьютерного моделирования и численной оптимизации. В основе данного исследования лежит метод идентификации с использованием адаптивных моделей в варианте, не требующем отключения регулятора. Исследуется подход к обработке сигналов, основанный на вейвлето-подобных финитных функциях, являющейся ядрами оператора интегрирования.

Ключевые слова: идентификация, метод интегральной модуляции, финитные функции, параметрический наблюдатель, моделирование.

СИСТЕМАИ АДАПТИВИИ ПАРАМЕТРИКӢ БАРОИ МУАЙЯН ҚАРДАНИ ОБЪЕКТҲОИ ДИНАМИКӢ БО ПАРАМЕТРҲОИ ДОИМӢ ВА ТАҒЙИРЁБАНДА

У.Х. Ҷалолов, Р.М. Бандишоева, М.А. Бадалова, Ш.Ё. Холов

Дар ин мақола масъалаи муайянкунии параметриҳои системаҳои динамикии идорашаванда ҳангоми кори муқаррарии онҳо бо истифода аз модел бо параметрҳои танзимшаванда, ки ба усули модулятсияи интегралӣ асос ёфтаанд, баррасӣ мешавад. Хусусияти асосии ин кор хусусияти мутобиқшавандаи тартиби муайянкунӣ мебошад, ки таъсири манфии "лағжиши" объекти идорашавандаро ҳангоми тағйир додани параметрҳои он ба ҳадди ақалл мерасонад. Барои бисёр равандҳои технологӣ (ТП) (пиршавии катализаторҳо дар муҳандисии кимиёвӣ, фарсудашавии муҳити майдакунӣ дар агрегатҳои майдакунӣ, тағирёбии қабати рӯйпӯш дар кӯраҳои чархзананда), параметрҳои модел дар тӯли вақт дар доираи васеъ ба таври беназорат тағйир меёбанд. Ин зарурати муайянкунии доимии объектҳои идоракуниро (СО) барои аз нав сохтор додани параметрҳои контроллерро ба вучуд меорад. Ҳалли умедбахши ин мушкилот таҳияи усулҳои боэътимод барои ҳисобкунии автоматикии параметрҳои системаҳои муайянкунӣ мебошад. Бо назардошти тамоюлҳои ҷорӣ, чунин усулҳо метавонанд ба моделсозии компютерӣ ва беҳсозии рақамӣ таъкиқ кунанд. Ин таҳқиқот ба усули муайянкунӣ бо истифода аз моделҳои мутобиқшаванда дар версияи асос ёфтааст, ки ҳомӯш қардани контроллерро талаб намекунад. Равиши коркарди сигнал, ки ба функсияҳои маҳдудӣ монанд ба вейвлет асос ёфтааст, ки ядроҳои оператори интегралӣ мебошанд, омӯхта мешавад.

Калидвожаҳо: муайянкунӣ, усули модулятсияи интегралӣ, функсияҳои маҳдуд, мушоҳидаи параметрӣ, моделиронӣ.

A PARAMETRIC ADAPTIVE SYSTEM FOR IDENTIFYING DYNAMIC OBJECTS WITH CONSTANT AND VARIABLE PARAMETERS

U.H. Jalolov, R.M. Bandishoeva, M.A. Badalova, Sh.Yo. Kholov

This article examines the problem of parametric identification of controlled dynamic systems during their normal operation using a model with adjustable parameters based on the integral modulation method. A key feature of this work is the adaptive nature of the identification procedure, which minimizes the negative impact of the controlled object's "swaying" when its parameters change. For many technological processes (TP) (catalyst aging in chemical engineering, wear of grinding media in grinding units, coating layer changes in rotary kilns), model parameters vary uncontrollably over time over a wide range. This necessitates ongoing identification of control objects (CO) to restructure controller parameters. A promising solution to this problem is the development of reliable methods for automatically calculating the parameters of identification systems. Given current trends, such methods may rely on computer modeling and numerical optimization. This study is based on an identification method using adaptive models in a version that does not require controller shutdown. A signal processing approach based on wavelet-like finite functions, which are the kernels of the integration operator, is explored.

Keywords: Identification, integral modulation method, finite functions, parametric observer, modeling.

Введение

Характеристика и идентификация систем являются ключевыми задачами теории систем, направленными на математическое описание объектов управления и определение их параметров [1,

2, 3]. Эти задачи особенно важны для динамических систем, где параметры могут изменяться во времени (например, старение катализаторов в химической технологии или износ оборудования). Современные подходы к идентификации систем активно используют методы машинного обучения, адаптивные алгоритмы и численную оптимизацию [4, 5].

Современные исследования фокусируются на разработке методов, которые обеспечивают высокую точность оценки параметров даже при наличии шумов и нестационарности параметров объекта. Основные подходы включают:

Адаптивная идентификация: Методы, такие как адаптивный параметрический наблюдатель, позволяют отслеживать изменения параметров объекта в реальном времени. Например, Yakovis и Strongin (2021) предложили адаптивную систему идентификации, которая минимизирует влияние внешних помех за счет использования оператора интегральной модуляции [7, 8].

Метод интегральной модуляции: Этот метод использует финитные функции для идентификации параметров объекта и обеспечивает более высокую точность по сравнению с классическим анализом, основанном на преобразовании Фурье, так как ядро интегральной модуляции аналогично функциям базисных функций вейвлет-преобразования, что позволяет динамически локализовать во временной области [9, 10, 11].

Машинное обучение: современные методы, такие как нейронные сети и глубокое обучение, применяются для моделирования сложных нелинейных систем [4, 5].

Особенностью идентификации нестационарных технологических процессов с переменными параметрами (например, изменение слоя покрытия во вращающихся печах) являются:

- Разложение переменных параметров по базисным функциям (например, полиномы Лагерра или Чебышева) для представления переменных параметров [4, 8, 11, 12];
- Использование градиентных методов наискорейшего спуска для минимизации ошибки идентификации [1; 2; 19].
- Преимущества современных методов. Современные методы идентификации имеют несколько ключевых преимуществ:
 - Высокая точность: адаптивные модели и метод интегральной модуляции обеспечивают точность оценки параметров даже при значительном уровне шума.
 - Устойчивость к шумам: за счет выбора интервала существования ядра оператора интегрирования можно эффективно фильтровать сигналы от внешних помех [15, 17].
 - Адаптивность: адаптивные системы могут работать без отключения регулятора, что особенно важно для критически важных систем [9, 10, 13, 14, 16].

Эффективность систем идентификации и ее количественные и качественные характеристики остаются фундаментальными проблемами теории систем. Современные подходы, такие как адаптивные модели, метод интегральной модуляции и машинное обучение, позволяют решать задачи идентификации даже для сложных нестационарных систем. Эти методы находят широкое применение в управлении технологическими процессами, робототехнике и системах автоматического регулирования.

Особую сложность представляет идентификация динамических систем с переменными параметрами, что характерно для многих технологических процессов, таких как старение катализаторов в химической технологии, износ оборудования или изменение условий работы. Для таких систем необходимы методы текущей идентификации, позволяющие реструктурировать параметры регуляторов в режиме нормальной работы. В данной работе предлагается адаптивный параметрический метод идентификации на основе оператора интегральной модуляции, который минимизирует влияние внешних помех и обеспечивает высокую точность оценки параметров.

Методы исследования

Характеристика и идентификация систем являются фундаментальными проблемами теории систем [1]. Проблема характеристики связана с математическим представлением системы; модель системы выражается как оператор F , преобразующий из входного пространства X в выходное пространство Y , и цель состоит в том, чтобы охарактеризовать класс $\mathfrak{M}$, к которому F принадлежит.

Учитывая класс $\mathfrak{M}$ и тот факт, что $F \in \mathfrak{M}$ проблема идентификации заключается в определении класса $\mathfrak{M}$ с $\mathfrak{M}$ и элемент $\hat{F} \in \mathfrak{M}$, так что $\hat{F} \in$ приближает F в некотором желаемом смысле.

Рассмотрим сепарабельное банаховое пространство [2], то есть множества, в которых существует счётное множество элементов $\{x_1, x_2 \dots x_n\}$, которое плотно в X найдется элемент x из множества, такой элемент $\|x - x_k\| < \varepsilon$. Это означает, что, пространство $C[a, b]$ непрерывных на отрезке $[a, b]$ функций $f(x)$ с нормой $\|f\| = \max_{a \leq x \leq b} |f(x)|$, где максимум определяется на отрезке

$x \in [a, b]$ пространства $L_p[a, b], p \geq 1$, состоящего из функций интегрируемых в p -й степени по Лебегу [3], с нормой

$$\|f\| = \left(\int_a^b |f(x)|^p dx \right)^{1/p} \quad (1)$$

Выбор класса идентификации моделей $\mathfrak{M}$, а также конкретный метод, используемый для определения F , зависит от множества факторов $\hat{F}$, которые связаны с желаемой точностью, а также с аналитической доступностью.

К ним относятся адекватность модели $\hat{F}$ для представления F , ее простота, легкость, с которой можно определить, насколько легко его можно расширить.

I. Идентификация динамических систем

Проблема распознавания образов является типичным примером идентификации статических систем [4,5]. Компакты $x_i \subset R^n, (i = 1, 2, \dots, n)$ представляют собой отображения x_i в элементы $y_j, \subset R^m (j = 1, 2, \dots, m)$ в выходное пространство с помощью функции F_0 . Элементы x_i , обозначают набор элементов вектора, соответствующие классу y_j . В динамических системах, оператор F_0 , определяющий данный объект неявно определяется парами времени $\{x(t), y(t), t\} \in [0, T]$ – входными и выходными сигналами функции F_0 . В обоих случаях цель состоит в том, чтобы определить F_0 так, чтобы

$$\|y - \hat{y}\| = \|F_0(x) - F_m(x)\| \leq \varepsilon, \quad x \in X \quad (2)$$

для некоторого желаемого $\varepsilon > 0$ и подходящей нормы (обозначенной $\|\cdot\|$ в выходном пространстве (1), $F_m(x) = \hat{y}_m$ обозначает, что выход идентификационной модели и, следовательно, $y - \hat{y}_m \triangleq e$ — ошибка между выходными сигналами модели $\hat{y}_m$ и объекта y .

II. Адаптивная система идентификации

Объект F с заданной парой сигналов ввода-вывода $\{x(t_k), y_p(t_k)\}$. Состояние эталонной модели M также определяется ее парой сигналов входа-выхода $\{r(t), y_m(t_k)\}$ где $r: N \rightarrow R$ ограниченная функция.

Выход $\{y_{mj}(t_k)\}$ является желаемым сигналом параметризованной модели объекта. Цель состоит в том, чтобы при заданных входных и выходных сигналах $x(t_k)$ и $y_p(t_k)$ для всех $t_k \geq t_0$ параметры идентификационной модели объекта так, что $\lim_{t \rightarrow \infty} |y_p(t) - y_m(t)| \leq \varepsilon$ для некоторой заданной константы $\varepsilon \leq 0$.

Как описано ранее, выбор модели идентификации (т.е. ее параметризация) и метод корректировки ее параметров на основе ошибки идентификации $e(t)$ составляют две основные части проблемы идентификации. Определение структуры модели идентификации и настройка его параметров для минимизации погрешности между выходом объекта и желаемым выходом модели объекта представляют собой соответствующие части задачи идентификации и управления.

Структура идентификатора может быть реализована в виде динамической эталонной модели, или в виде параметрической модели [6,7,8]. При этом для оценки неизвестных параметров нестационарного объекта на основе уравнений идентификации можно реализовать с помощью алгебраических методов [9] или с применением адаптивных алгоритмов [10].

III. Синтез алгоритмов идентификации стационарного динамического объекта с параметрическим наблюдателем

Пусть объект управления описывается дифференциальным уравнением вида:

$$\sum_{i=0}^n a_i [\tilde{y}(t) D^{(i)}] = \sum_{j=0}^m b_j [x(t) D^{(j)}], \quad a_0 = 1 \quad (3)$$

a_i и b_j – параметры объекта; $x(t)$, $y(t)$ – контролируемые входной и выходной сигналы объекта.

где: $\{x(t), y(t)\} \in B(G)$ – входной и выходной сигналы объекта;

D^i, D^j – операторы дифференцирования, действующие из пространства непрерывных функций $B'(G)$ в пространстве $B_p(\bar{G})$, $|\alpha| < p$; $\tilde{Y}(t) \in B(\bar{G})$,

($\bar{G}$ – замыкание множества) $G [t_0, -T]$ с нормой:

$\|X\|_p = \max(\max|x(t)|, \max|x'(t)| \dots \max|x^{(p)}(t)|)$;

$\|Y\|_p = \max(\max|y(t)|, \max|y'(t)| \dots \max|y^{(p)}(t)|)$.

Представим входной и выходной сигналы через оператор интегральной модуляции Φ_t [2, 3, 4, 5]:

$$\begin{cases} \Phi_t \{D^i x(t)\} = \int_{\tau=t_0}^{\tau=T} D^i x(t) \varphi(t, \tau) d\tau \\ \Phi_t \{D^j \tilde{y}(t)\} = \int_{\tau=t_0}^{\tau=T} D^j y(t) \varphi(t, \tau) d\tau \end{cases} \quad (4)$$

где: $i=0, 1, 2, \dots, n$; $j=0, 1, 2, \dots, m$.

Как показывает практика, для определения параметров a_i и b_j оператора F в интервале $\tau \in [t_0, -T]$ и на основе сигналов $x(t)$ и $\tilde{y}(t)$ эффективным является метод интегральной модуляции (ИМ) [4-8]. Суть метода ИМ заключается в следующем: преобразуем выражение- (3) с помощью линейного оператора Φ_t . В таком случае, учитывая линейность оператора Φ_t , будем иметь:

$$\sum_{i=0}^n a_i \Phi_t \{D^i y(\tilde{t})\} = \sum_{j=0}^m b_j \Phi_t \{D^{(j)} x(\tau)\} \quad (5)$$

где: $\Phi_t(\cdot)$ – линейный оператор модуляции, действующий над функциями $x(t, \tau)$, $y(t, \tau)$, при фиксированном значении аргумента τ . Ядро интегрального выражения (5) $\varphi_t \delta(t - \tau) \in B(G)$ является модулирующей функцией. Наложим на функцию $\varphi_t \delta(t - \tau)$ следующее требование: пусть модулирующая функция $\varphi^{(i)}(t, \tau)$ и ряд ее обобщенных производных $\varphi^{(i)}(t, \tau)$ включительно до порядка n непрерывны в квадранте; $\tilde{y}(t) \in P(t_0, t_0 - T)$ и удовлетворяют условию:

$$\partial^i \varphi(t, \tilde{t}) = \begin{cases} \varphi^{(i)}(t, \tilde{t}) & \text{при } t_0 - T \leq \tau < t_0 \\ 0 & \text{при } t_0 \leq \tau \leq t_0 - T \end{cases} \quad (6)$$

Значит эти функции из класса финитных, носители которых принадлежат интервалу $(t_0 - T, t_0)$, то есть $\text{supp}[\varphi(t), (t - T, \tau)] \in P(t_0 - T, t_0)$. Совокупность функционалов, входящих в выражение, можно рассматривать как регулярные обобщенные функции в пространстве основных финитных функций $\varphi^{(i)}(t, \tau) \in P$, для которых операция дифференцирования совпадает с операцией дифференцирования обычных функций [9].

$$(D^i \tilde{y}, \varphi) = (-1)^i (\tilde{y}, D^i \varphi), \quad \varphi \in \Phi \quad (7)$$

С учетом этого и условия (6) проинтегрируем выражение (5) по частям, рассматривая t как параметр, а τ как аргумент базисных функций $\varphi(t, \tau)$ до тех пор, пока производные от входных и выходных $\{x^i(t), \tilde{y}^j(t)\}$ сигналов не будут иметь степень нулевого порядка

$$\sum_{i=0}^n \int_{\tilde{t}=t_0-T}^{\tilde{t}=t_0} a_i \tilde{y}(\tau) [D_{\tau}^i \varphi(t, \tilde{t})] d\tilde{t} = \sum_{j=0}^m \int_{\tilde{t}=t_0-T}^{\tilde{t}=t_0} b_j x(\tau) [D_{\tau}^j \varphi(t, \tilde{t})] d\tilde{t} \quad (8)$$

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} \tilde{C}_{i-1}(t) &= \frac{d\tilde{C}_i}{dt} = \int_{t_0-T}^{t_0} \varphi^{(i-1)}(t, \tau) \tilde{y}(\tau) d\tau; \\ U_j(t) &= \Phi[x] = \langle \varphi^{(j)} x(t) \rangle = \int_{\tau=t_0-T}^{\tau=t_0} x(\tau) D_{\tau}^j d\tau \end{aligned} \quad (9)$$

Можно показать, используя правило Лейбница / 79/, что

$$\tilde{C}_{i-1}(t) = \frac{d\tilde{C}_i}{dt} = \int_{t_0-T}^{t_0} \varphi^{(i-1)}(t, \tau) \tilde{y}(\tau) d\tau \quad (10)$$

аналогичное соотношение соблюдается и для функции $U_j(t)$

Утверждение: Оператор Φ , отображающий в пространство P непрерывных функций $\{x(t), \tilde{y}(t)\}$ с нормой $\|\tilde{y}\| = \max_{0 \leq t \leq 1} |\tilde{y}(t)|$, $\|x\|, \|y\| \in P$ пространстве P , $T \in [0, 1]$ вполне непрерывен. Для доказательства этого утверждения определим норму оператора следующим образом:

$$\begin{aligned} \|\Phi \tilde{y}\| &= \|C\| = \max \left\{ \max_{0 \leq t \leq 1} |C_0(t)|, \dots, \max_{0 \leq t \leq 1} |C_0^K(t)| \right\} = \\ &= \max \left\{ \max_{0 \leq t \leq 1} \left| \int_0^1 \tilde{y}(\tau) \varphi_M(t, \tau) d\tau \right|, \dots, \max_{0 \leq t \leq 1} \left| \int_0^1 \tilde{y}(\tau) \varphi^{(K)}(t, \tau) d\tau \right| \right\} \\ &\leq \max_{\tau} \int_0^t |\varphi(t, \tau)| d\tau * \max_{0 \leq t \leq 1} \int_0^1 \varphi^{(k)}(t, \tau) d\tau * |\tilde{y}(\tau)| = \\ &\max_{0 \leq t \leq 1} \left\{ \max_{0 \leq t \leq 1} \int_0^t |\varphi^{(k)}(t, \tau)| d\tau \right\} \|Y\| \end{aligned} \quad (11)$$

Следовательно,

$$\|\Phi\| \leq \max \left\{ \max_{0 \leq t \leq 1} \int_0^1 |\varphi(t, \tau)| d\tau, \dots, \max_{0 \leq t \leq 1} \int_0^1 |\varphi^{(K)}(t, \tau)| d\tau \right\} \|Y\| \quad (12)$$

Пусть $Y(t)$ - ограниченное множество функций из $P \in [0, 1]$. Тогда, функция $C_i(t) = \max_{\tau} \left| \int_0^t \varphi^{(i)}(t, \tau) y(\tau) d\tau \right|$ также равномерно ограничена. Действительно, если $\max_{\tau} |\varphi^{(i)}(t, \tau)| = M$, то $|C_i(t)| \leq M * d$.

Далее, функции $C_i(t)$ равно степенно непрерывны. В силу непрерывности ядра $\varphi^{(i)}(t, \tau)$, для любого можно найти такое, что

$$|\varphi^{(i)}(t_1, \tau) - \varphi^{(i)}(t_2, \tau)| < \delta; \delta < |t_1 - t_2| \in [0, 1],$$

но тогда

$$|C_i(t_1) - C_i(t_2)| < \int_0^1 |\varphi^{(i)}(t_1, \tau) - \varphi^{(i)}(t_2, \tau)| |\tilde{y}(\tau)| d\tau < \delta, \quad (13)$$

что означает равно степенность рассматриваемых функций. Следовало, из равномерной ограниченности и равно степенности функций $\tilde{C}_i(t)$ следует ограниченность и непрерывность оператора интегральной модуляции Φ . Используя рассматриваемый метод, можно исходное дифференциальное уравнение (8) представить в виде:

$$\sum_{i=1}^n a_i C_i(t) - \sum_{j=1}^m b_j U_j(t) + U_0(t) \quad (14)$$

или в матричной форме

$$\tilde{C}(n)q = U_0(n) \quad (15)$$

где $\tilde{C}(n)$ - матрица известных коэффициентов размера $(n+m+1) \times (n+m+1)$ с элементами:

$$\tilde{C}\{n\} = \begin{bmatrix} \tilde{C}_0(0) * \tilde{C}_1(0) \dots & \tilde{C}_n(0) \tilde{U}_1(0) & \dots & \tilde{U}_m(0) \\ \tilde{C}_0(1) * \tilde{C}_1(1) \dots & \tilde{C}_n(1) \tilde{U}_1(1) & \dots & \tilde{U}_m(1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{C}_0(n) * \tilde{C}_1(n) \dots & \tilde{C}_n(n) \tilde{U}_1(n) & \dots & \tilde{U}_m(n) \end{bmatrix}$$

где: $q = \{a_i \text{ и } b_j\}$ - вектор неизвестных параметров стационарного объекта;
 $x(t), y(t)$ - контролируемые входной и выходной сигналы объекта.

Результаты исследований рассматриваемого параметрического метода идентификации приведены на рисунке 1.

IV. Синтез адаптивных алгоритмов идентификации с параметрическим наблюдателем (НП) для нестационарного объекта

Теперь рассмотрим применение данного подхода применительно к объекту с переменными параметрами

$$\sum_{i=0}^n \int_{\tilde{t}=t_0-T}^{\tilde{t}=t_0} a_i \tilde{y}(\tau) [D_{\tilde{t}}^i \varphi(t, \tilde{t})] d\tilde{t} = \sum_{j=0}^m \int_{\tilde{t}=t_0-T}^{\tilde{t}=t_0} b_j x(\tau) [D_{\tilde{t}}^j \varphi(t, \tilde{t})] d\tilde{t} \quad (16)$$

Представим переменные параметры: $a_i(t), b_j(t)$ уравнения (16) в виде разложения на интервале $t_\mu \in (t_0 - T, t_0)$.

$$a_{i0}(t) = \sum_{k=0}^N q_{ik} f_k(t_\mu); b_{j0} = \sum_{k=0}^M l_{jk} f_k(t_\mu). i = \overline{1, 2, \dots, n}; j = \overline{0, 1, 2, \dots, m} \quad (17)$$

где $f_k(t_\mu)$ – базис функции, в качестве которых могут быть использованы функции: Лагерра, Лежандра, Каутца, Якоби, Чебышева, Тейлора [10].

С учётом разложения (17) выражение (16) можно представить в виде:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^N q [\tilde{y}^i(t) f_{ki}(t)] + y(t) = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^M l_{jk} [x^j(t) f_{kj}(t)]. \quad (18)$$

Применив оператор интегральной модуляции Φ к уравнению (18), преобразуем последнее к виду:

$$C_0(t) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^N q_{ik} C_{ik}(t) = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^M l_{jk} U_{jk}(t), \quad (19)$$

где коэффициенты $C_{ik}(t), U_{jk}(t)$ определяются из условий:

$$\left. \begin{aligned} C_{ik}(t) &= \int_{t_0-T}^{t_0} \tilde{y}(\tau) [f_k(\tau) \varphi(\tau)]^i d\tau \\ U_{jk}(t) &= \int_{t_0-T}^{t_0} x(\tau) [f_k(\tau) \varphi(\tau)]^j d\tau \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Введем в рассмотрение функционал вида:

$$\mathcal{F} = \overline{e^2}(t) = E \left[\sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^N q_{ik} C_{ik}(t) - \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^M l_{jk} U_{jk}(t) + C_0(t) \right]^2 \quad (21)$$

Для минимизации функционала используем градиентный метод наискорейшего спуска. Определим частные производные функционала $\mathcal{F}$ по параметрам q_{ik}, l_{jk} :

$\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial (q_{ik}, l_{jk})} = 2e \sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^N \frac{\partial e}{\partial (q_{ik})} + 2e \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^M \frac{\partial e}{\partial (l_{jk})}$, “ – ” знак операции усреднения, где частные производные по параметрам связаны с координатами $C_{ik}(t), U_{jk}(t)$ следующими соотношениями:

$$\frac{\partial e}{\partial (q_{ik})} = C_{ik}(t), \quad \frac{\partial e}{\partial (l_{jk})} = U_{jk}(t) \quad (22)$$

Найдём условия, при которых минимизируемый функционал уменьшается вдоль траектории, заданной уравнением спуска:

$$\frac{\partial (q_{ik}, l_{jk})}{dt} - \Gamma(t) \frac{\partial \mathcal{F}}{\partial (q_{ik}, l_{jk})}; \quad (23)$$

Вычислим полную функционала $\mathcal{F}$ по времени:

$$\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial t} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^N \sum_{j=0}^m \frac{\partial \mathcal{F}}{\partial (q_{ik}, l_{jk})} + \frac{\partial \mathcal{F}}{\partial t} \quad (24)$$

Введем допущение о стационарности экстремальной точки функционала во времени. Тогда выражение будет иметь максимальное значение, когда составляющие вектора $\partial \mathcal{F} / \partial (q_{ik}, l_{jk})$ коллинеарны соответственно векторам оцениваемых параметров q_{ik}, l_{jk} ; с учетом этого получим условие настройки коэффициентов $\widehat{q_{ik}}, \widehat{l_{jk}}$ НП.

$$\frac{\partial \widehat{q}_{ik}}{\partial t} = \overline{-y_{ik}e(t)C_{ik}(t)}, \quad \frac{\partial \widehat{l}_{jk}}{\partial t} = \overline{-y_{jk}e(t)C_{jk}(t)}, \quad (25)$$

$$i = \overline{1, 2, \dots, n}; \quad j = \overline{0, 1, 2, \dots, m}; \quad k = \overline{0, 1, \dots, N, (M)}$$

Для технической реализации системы идентификации с НП требуется в общем случае $(n+m+1)$ $x(n+m+1)$ переменных коэффициентов, используемых в качестве настраиваемых параметров модели. Систему уравнений упростим для того случая, когда процесс квазистационарных в интервале наблюдения. Тогда переменные параметры объекта можно представить в виде:

$$\begin{cases} a_{i0}(t) = a_i + \Delta a_i(t) \\ b_{j0}(t) = b_j + \Delta b_j(t) \end{cases}, \quad t \in T \quad (26)$$

где $\Delta a_i(t), \Delta b_j(t)$ – величины достаточно высокого порядка малости. С учетом этого запишем уравнение ошибки модели в пространстве координатных функций $(C_i(t), U_i(t))$:

$$\mathcal{F} = \overline{e^2}(t) = E\{[\sum_{i=1}^n \widehat{a}_i C_i(t) + \Delta Z_\alpha(t)] - [\sum_{j=0}^m b_j U_j(t) + \Delta \mu_\beta(t)]\}^2 \quad (27)$$

Пренебрегая членами более высокого порядка,

$$\begin{cases} \Delta Z_\alpha(t) = \int_{t_0-T}^{t_0} \Delta a_{i0}(\tau) y^{(i)}(\tau) \varphi(t, T) d\tau \\ \vdots \\ \Delta \mu_\beta(t) = \int_{t_0-T}^{t_0} \Delta a_{j0}(\tau) x^{(j)}(\tau) \varphi(t, T) d\tau \end{cases} \quad (28)$$

Получим функционал вида:

$$\mathcal{F} = \overline{e^2}(t) = E[\sum_{i=1}^n \widehat{a}_i C_i(t) + C_0(t) - \sum_{j=0}^m \widehat{b}_j U_j(t)]^2 \quad (29)$$

Можно показать [11,12], что оценки параметров (a_i, b_j) , доставляющих минимум выражению (28), будут определяться из системы уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d\widehat{a}_i}{dt} &= \overline{-y_i e(t) C_i(t)} \quad i = \overline{1, 2, \dots, n}; \\ \frac{d\widehat{\beta}}{dt} &= \overline{-y_j e(t) U_j(t)} \quad j = \overline{0, 1, 2, \dots, m}; \end{aligned} \quad (30)$$

Блок-схема системы идентификации (СИ) с адаптивным наблюдателем параметров приведена на рисунке 2, где ФКФ1, ФКФ2 формирователи координатных функций $-C_i(t), U_j(t)$. Результаты исследования, приведённые в среде Matlab/Simulink, показали работоспособность и эффективность последнего при оценке текущих параметров объекта, описываемого уравнением (16).

Результаты и обсуждения

Моделирование системы идентификации осуществлялось при различных значениях коэффициента зашумлённости полезного выходного сигнала объекта $K_\delta = \delta_n^2 / \delta_c^2$ (здесь δ_n^2, δ_c^2 – соответственно уровень дисперсий помехи и полезного сигнала) и следующих значений параметров модели: $a_2 = 2, a_1 = 1.2, b_0 = 1.4$. Осциллограммы работы адаптированного НП, соответствующие трем различным вариантам эксперимента представлены на рисунке 1.

Относительная погрешность (где $\widehat{q} = (\widehat{a}_2, \widehat{a}_1, \widehat{k}_0)$), $\widehat{q} \triangleq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \widehat{q}_i[n]$

n -количество точек съема измерений значений вектора $\widehat{q}$), составило соответственно при

$K_{\delta^2} = 1 \div 1.3; \|\delta_q\| = 5 \div 8\%$, при $K_{\delta^2} = 2, \|\delta_q\| = 10 \div 1.3$ и при $K_{\delta^2} = 0.15 \div 0.2$

$$\|\delta_q\| = 3.4\% \quad \|\delta_q\| = \frac{\|\widehat{q} - q\|}{\|q\|_2} \cdot 100\%,$$

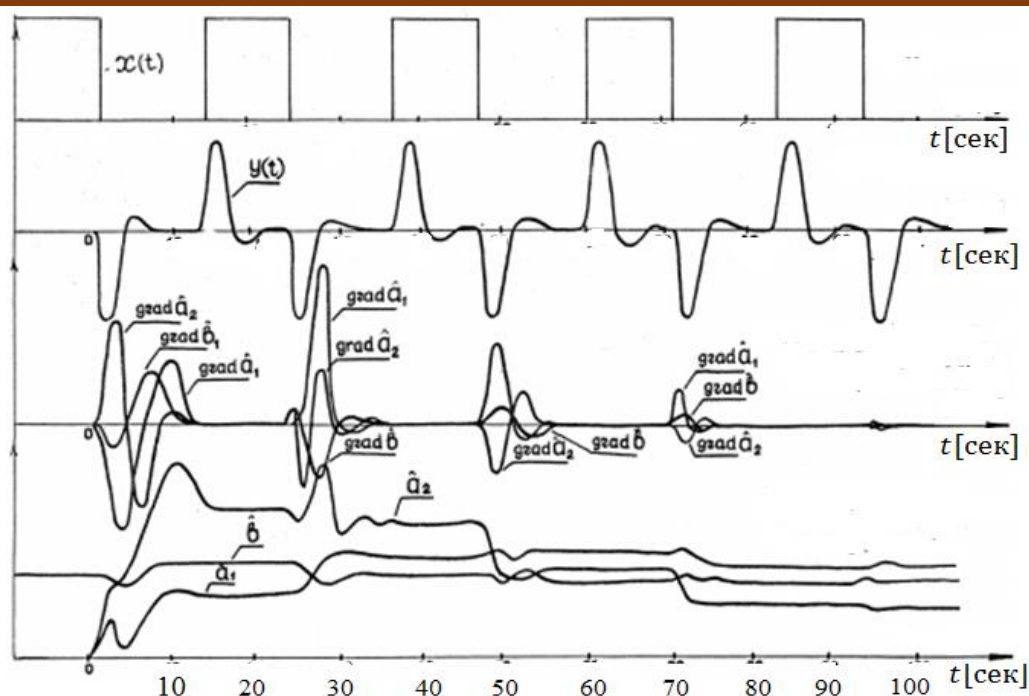


Рисунок 1 – Адаптивная система идентификации параметров стационарного объекта второго порядка

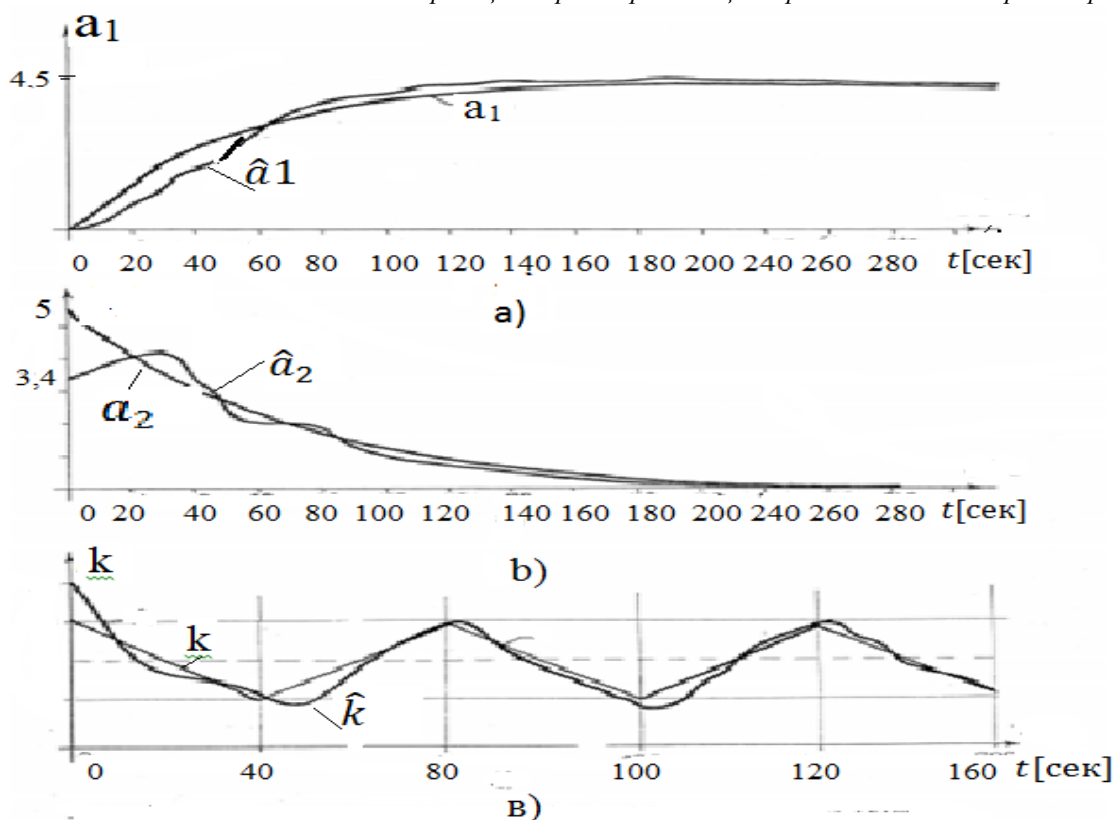


Рисунок 2 – Адаптивная система идентификации динамического объекта с переменными параметрами

Настройка коэффициентов адаптированного наблюдения параметров производилась при подаче на вход объекта идентификации сигнала прямоугольной формы при различных начальных значениях коэффициентов НП. Из осциллограммы, представленной на рисунке 2в, видно, что система

идентификации сохраняет устойчивость и обеспечивает сходимость даже при нулевых начальных значениях коэффициентов НП.

Рассматриваемая система идентификации с адаптированным наблюдателем параметров использовалась для идентификации нестационарных параметров $a_2(t), a_1(t), b_0(t)$ объекта, описываемого дифференциальным уравнением вида (2.1), где параметры идентифицируемого объекта изменились по следующим законам:

$$a_2(t)4.5[1 - \exp(-t/50)]; a_2(t) = 5.2 \exp(-0.01t); b_0(t) = 2.6 \pm \int_0^T 0.06dt.$$

Результаты моделирования представлены на рисунке 2 (а, б, и в). Эксперимент подтвердил работоспособность последнего при изменяемых параметрах объекта в широких пределах:

$$a_1 = 0 \div 4.5; a_2(t) = 5.4 \div 3.6; b_0 = 5 \div 1.4;$$

Следует отметить, что при интенсивных изменениях параметров объекта на выходе НП могут возникать большие рассогласования, которые не могут своевременно уменьшить контур самонастройки НП из-за наличия в системе идентификации собственной постоянной времени, определяемой следующей совокупностью: интеграторами исполнительных устройств и т.д. Причем в целях получения в некоторых случаях оптимальной системы идентификации (в смысле быстродействия СИ и точности получаемых результатов) необходимо применить принципы адаптации не только к устройству наблюдения параметров, но и к остальным звеньям, входящим в состав СИ.

Заключение

Предложенный адаптивный параметрический метод идентификации на основе оператора интегральной модуляции позволяет эффективно оценивать текущие значения параметров динамических объектов с постоянными и переменными параметрами. Разработанный алгоритм обеспечивает высокую точность оценки в условиях воздействия внешних помех и может быть использован для расчёта параметров стандартных регуляторов в режиме рабочей эксплуатации объектов управления.

Рецензент: Гуломсафдаров А.Т. – к.т.н., и.о. доцента Технологического университета Таджикистана.

Литература

1. Построение системы управления объекта с запаздыванием с применением параметрического идентификатора / У. Х. Джалолов, Н. И. Юнусов, Р. М. Бандишоева [и др.] // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 1(49). – С. 18-22. – EDN GTQZWQ.
2. Юнусов Н.И., Джалолов У.Х., Зиёев Ш.Ш., Холов Ш.Ё., и др. Устройство для дополнительного охлаждения двигателей внутреннего сгорания / Н.И. Юнусов, У.Х. Джалолов, Ш.Ш. Зиёев, Ш.Ё. Холов и др. // Патент TJ 1447, заявка №1801183 от 01.03.2018, зарег. 20.06.2018.
3. Семенов А. Д., Артамонов Д. В., Брюхачев А. В. Идентификация объектов управления: Учебн. пособие. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. - 211 с.
4. Советов Б.Я., Цехановский В.В., Чертовский В.Д. Интеллектуальные системы и технологии. Москва: ИЦ «Академия», 2013, 320с.
5. Бозоров, Ш. А. Аналитические методы расчета влияния температурного режима и производительности солнечных опреснительных установок / Ш. А. Бозоров, А. С. Джафаров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 4(56). – С. 22-30. – EDN MDCTQV.
6. Nils J., Nilsson N.J. Introduction to Machine learning – Robotics Laboratory Department of Computer Science. Stanford: Stanford University. 1998, 188p.
7. Yakovis, L.M. Adaptive Identification of Control Objects in Systems with Standard Controllers / L.M. Yakovis, P.Ya. Strongin // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1864. – № 1. – P. 012110. DOI: 10.1088/1742-6596/1864/1/012110.
8. Yakubov, M. Methods for adaptive control of objects with variable parameters / M. Yakubov, G. Jamalova // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 264. – P. 01049. DOI: 10.1051/e3sconf/202126401049.
9. L.M. Yakovis and P.Ya. Strongin 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1864.
10. Джалолов У.Х., Набиев С.А., Тавказакон М.Б. Адаптивная система для стабилизации скорости перемещения штучных изделий в вибрационно-загрузочном устройстве // Тез.докл. XII Республикан. научно-технич. конф. по проблемам строительства в машиностроении. - Нальчик. 1984. - с.25-27.
11. Джалолов У.Х. Параметрическая идентификация нестационарных динамических объектов. Тезисы докладов IX Всесоюзного совещания по проблемам управления. Ереван 1983. - с.72-73.
12. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2008 – 448 с.

13. Махмудович, Г.Р. О равномерной сходимости ряда Фурье по системе полиномов, порожденной системой полиномов лаггерра / Г.Р. Махмудович // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Математика. Механика. Информатика. – 2020. – Т. 20. – № 4. – С. 416-423.

14. М.Ю Сидляр. Разложение по собственным функциям оператора Лежандра на мнимой оси / Сидляр М.Ю // Вестник российских университетов. Математика. – 2005. – Т. 10. – № 1. – С. 53-54.

15. Барвинский, Д.А. Применение метода градиентного спуска в решении задач оптимизации / Д.А. Барвинский, Т.А. Минеева // ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ. – 2021. – Т. 74. – С. 61-66. DOI: 10.18411/lj-06-2021-56.

16. Викторovich С.С. Решение задачи нелинейной параметрической идентификации стохастических объектов с использованием критерия минимума вероятности ошибки оценивания / С.С. Викторovich, К.П. Александрович // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2009. – Т. 52. – № 3. – С. 5-12.

17. Галоян, Л. О сходимости рядов Фурье по классическим системам / Л. Галоян, L. Galoyan, М. Григорян и др. // Математический сборник. – 2015. – Т. 206. – С. 55-94. DOI: 10.4213/sm8424.

18. Ирсуневич Ц.Р. Условия сходимости ряда Фурье при разложении сигнала по новым системам базисных функций / Ц.Р. Ирсуневич // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2011. – № 2. – С. 123-131.

19. Нечеткое управление процессами в системе охлаждения ддвс с дополнительным устройством / Н. И. Юнусов, У. Х. Джалолов, Ш. Ш. Зисев, У. А. Турсунбадалов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 3(47). – С. 38-43. – EDN HXMAU.

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

TJ	RU	EN
Чалолов Убайдулло Ҳабибуллоевич	Джалолов Убайдулло Ҳабибуллоевич	Jalolov Ubaydullo Habibulloevich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of technical sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: Jalolov@gmail.com		
TJ	RU	EN
Бандишоева Рисолат Мирзошоевна	Бандишоева Рисолат Мирзошоевна	Bandishoeva Risolat Mirzoshoevna
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of technical sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: risolatbm@gmail.com		
TJ	RU	EN
Бадалова Мамлакат бдухайровна	Бадалова Мамлакат бдухайровна	Badalova Mamlakat Abdukhayrovna
н.и.т., и.в. дотсент	к.т.н., и.о. доцента	Candidate of technical sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: bmamlakat@mail.ru		
TJ	RU	EN
Холов Шавкат Ёрович	Холов Шавкат Ёрович	Kholov Shavkat Yorovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of technical sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: sh.kholov88@gmail.com		

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Ван Цуйцуй

Таджикский педагогический институт в городе Пенджикент

В представленной статье рассматриваются концепция и реализация комплексной программно-технической среды для проведения дистанционных физических опытов в режиме реального времени. Предложенная архитектура обеспечивает пользователям удалённое взаимодействие с физическими установками, включая процессы мониторинга, управления и комплексной обработки полученных данных. Апробация системы проводилась на базе оборудования для изучения механических колебаний. Ключевым показателем эффективности стала минимизация временного отклика: задержка сигнала составила всего 60-120 мс, что критически важно для комфортного интерактивного обучения. Испытания подтвердили отказоустойчивость платформы при нагрузке до 50 одновременных подключений. Основное преимущество разработки заключается в переходе от имитационного моделирования к работе с «живыми» измерениями. Это позволяет студентам глубже погрузиться в специфику приборных погрешностей и научиться сопоставлять теорию с реальной практикой, формируя актуальные цифровые компетенции.

Ключевые слова: удалённая лаборатория, дистанционное обучение, физический эксперимент, системная задержка, интерактивное управление, цифровые компетенции.

ТАРҲРЕЗИИ АРХИТЕКТУРАИ БАРНОМАВИЮ ТЕХНИКИ ПЛАТФОРМАИ АБРҲИ БАРОИ ГУЗАРОНИДАНИ ТАҶРИБАҶОИ ФИЗИКӢ ДАР ВАҚТИ ВОҶЕӢ

Ван Цуйцуй

Дар мақолаи пешниҳодшуда концепсия ва татбиқи муҳити маҷмӯии барномавии техники барои гузаронидани таҷрибаҳои физикии дурдаст дар вақти воқеӣ баррасӣ мешавад. Архитектураи пешниҳодшуда ба корбарон имкони ҳамкориҳои фосилавӣ бо таҷҳизоти физикӣ, аз ҷумла равандҳои мониторинг, идоракунии ва коркарди маҷмӯии додаҳо фароҳам меорад. Санҷиши система дар заминаи таҷҳизоти озмоишӣ барои омӯзиши лаппишҳои механикӣ гузаронида шуд. Нишондиҳандаи асосии самаранокӣ ҳадди ақал гардонидани вақти воқуниш гардид: таъхири сигнал ҳамагӣ 60–120 мс-ро ташкил дод, ки ин барои омӯзиши интерактиви бароҳат аҳамияти ҷиддӣ дорад. озмоишҳо устувории платформаро ҳангоми бори ҳамзамони то 50 сессии корбарон тасдиқ карданд. Бартариии асосии ин коркард дар гузариш аз моделсозии имитатсионӣ ба кор бо ҷенкуниҳои «зинда» мебошад. Ин ба донишҷӯён имкон медиҳад, ки ба хусусиятҳои ҳақиқии асбобӣ амиқтар ворид шаванд, муқоисаи назарияро бо амалияи воқеӣ омӯзанд ва салоҳиятҳои муносири рақамиро ташаккул диҳанд.

Калидвожаҳо: озмоишгоҳи дурдаст, таълими фосилавӣ, таҷрибаи физикӣ, таъхири система, идоракунии интерактивӣ, салоҳиятҳои рақамӣ.

DESIGN OF THE SOFTWARE AND HARDWARE ARCHITECTURE FOR A CLOUD PLATFORM TO CONDUCT REAL-TIME PHYSICAL EXPERIMENTS

Wang Cuicui

The presented article discusses the concept and implementation of a comprehensive software and hardware environment designed for conducting remote physical experiments in real-time. The proposed architecture enables users to interact remotely with physical setups, encompassing monitoring, control, and integrated data processing. System validation was performed using a laboratory stand dedicated to the study of mechanical oscillations. A key performance indicator was the minimization of response time: the signal latency ranged between 60–120 ms, which is critical for ensuring comfortable interactive learning. Tests confirmed the platform's stability under a simultaneous load of up to 50 active user sessions. The primary advantage of this development lies in the transition from simulation modeling to working with "live" measurements. This approach allows students to gain a deeper understanding of instrumental errors and learn to reconcile theoretical models with empirical results, thereby fostering essential digital and research competencies.

Keywords: remote laboratory, distance learning, physical experiment, system latency, interactive control, digital competencies.

Введение

Повсеместное внедрение дистанционных и гибридных образовательных моделей актуализировало проблему качественной организации лабораторных работ по физике. Эксперимент остается фундаментальным инструментом познания, необходимым для верификации теоретических гипотез и развития навыков обращения с измерительной аппаратурой [1-5]. Традиционный очный практикум позволяет студентам освоить методологию научного исследования, что подтверждается многочисленными педагогическими изысканиями.

В условиях удаленного обучения частичным решением стали виртуальные симуляторы. Несмотря на их интерактивность и возможности визуализации, такие программные среды обладают существенным недостатком: они предлагают идеализированные модели. Работа с симулятором не позволяет обучающемуся столкнуться с реальными факторами эксперимента — аппаратными погрешностями, сигнальными шумами и стохастичностью физических процессов. Это, в свою очередь, ограничивает формирование глубоких исследовательских компетенций [6-10].

Качественно иным подходом является внедрение удаленных лабораторий (Remote Labs). Данная технология предоставляет веб-доступ к реальным аппаратно-программным комплексам. В отличие от эмуляторов здесь пользователь управляет физической установкой и получает массив подлинных эмпирических данных [11-13]. Интеграция IoT-компонентов и облачных технологий позволяет реализовывать сложные сценарии (например, изучение динамики или электромагнетизма) в дистанционном формате, что соответствует концепции «Образование 4.0».

Анализ существующего опыта (включая платформы типа iSES) свидетельствует о том, что работа с реальным оборудованием через сеть повышает вовлеченность студентов и способствует развитию критического мышления [14-17]. Однако техническая реализация таких систем сопряжена с вызовами, главным из которых является обеспечение интерактивности. В связи с этим приоритетной задачей становится проектирование облачных архитектур с минимальной временной задержкой, обеспечивающих эффект присутствия и синхронное управление экспериментом в реальном времени.

Архитектура облачной платформы удалённого физического эксперимента

Структурная организация программно-аппаратного комплекса. Разработанная система базируется на трехуровневой иерархической модели, включающей клиентский интерфейс, серверное ядро и физическое оборудование. Подобная декомпозиция гарантирует гибкость конфигурации и отказоустойчивость платформы.

1. Пользовательский уровень (Frontend). Реализован в виде кроссбраузерного веб-приложения («тонкий клиент»), что исключает необходимость инсталляции локального ПО. Интерфейс объединяет инструменты отправки команд, модуль визуализации телеметрии (построение графиков и таблиц в реальном времени) и окно видеотрансляции. Для повышения методической эффективности предусмотрена функция логирования сессий и экспорт «сырых» данных для постобработки.

2. Серверный уровень (Backend). Выступает в роли оркестратора системы. Он отвечает за балансировку нагрузки, маршрутизацию трафика и управление жизненным циклом сессий. Ключевым элементом транспортного слоя является протокол MQTT, обеспечивающий асинхронный и гарантированный обмен сообщениями между облаком и лабораторной установкой. Подсистема безопасности реализует механизмы аутентификации, предотвращая несанкционированное вмешательство в ход эксперимента.

3. Физический уровень (Hardware). Представляет собой лабораторный стенд под управлением микроконтроллеров. Этот уровень преобразует цифровые команды в механические действия актуаторов и осуществляет высокочастотный опрос датчиков (акселерометров, энкодеров и др.).

Особое внимание уделено синхронизации потоков данных: видеотрансляция передается через протокол WebRTC, что минимизирует задержки (low latency) и позволяет пользователю мгновенно соотносить визуальную картинку с показаниями приборов.

Масштабируемость решения достигается за счет микросервисной архитектуры и контейнеризации (Docker/Kubernetes). Это позволяет оперативно подключать новые типы лабораторных установок и внедрять модули интеллектуального анализа данных (ML) без остановки системы.



Рисунок 1 – Архитектура облачной платформы удалённого физического эксперимента

Таким образом, предложенная архитектура обеспечивает высокую интерактивность, надёжность передачи данных и образовательную ценность удалённых лабораторных экспериментов, создавая условия для полноценного формирования исследовательских и экспериментальных компетенций обучающихся.

Технологические решения и особенности реализации

Резюмируя вышесказанное, разработанная архитектура гарантирует необходимый уровень интерактивности и надёжности, что критически важно для методической ценности удалённого эксперимента. Техническая реализация проекта базируется на следующих ключевых решениях:

1. **Протоколы передачи данных.** В качестве стандарта для обмена телеметрией и управляющими сигналами выбран протокол MQTT. Его применение обусловлено необходимостью минимизировать накладные расходы трафика и обеспечить стабильность соединения в условиях нестабильных сетей. Данный протокол гарантирует асинхронную доставку пакетов данных между сервером и микроконтроллерами, что позволяет синхронизировать действия оператора с откликом оборудования даже при существенных сетевых задержках.

2. **Визуализация процесса.** Для трансляции видеопотока задействована технология WebRTC. Это решение исключает необходимость установки сторонних плагинов или использования промежуточных серверов ретрансляции, создавая прямой канал связи (Peer-to-Peer) между камерой установки и браузером. Такой подход минимизирует лаг видеосигнала, позволяя студенту мгновенно оценивать реакцию системы на вводимые команды.

3. **Серверная логика и масштабируемость.** Бэкенд платформы функционирует на базе асинхронной модели обработки запросов. Это обеспечивает высокую производительность при пиковых нагрузках, позволяя десяткам пользователей одновременно работать с лабораторными стендами без потери качества соединения. Система балансировки нагрузки эффективно распределяет потоки данных между различными узлами.

4. **Методическая достоверность.** Принципиальной особенностью системы является отказ от идеализации данных. Платформа транслирует реальные физические шумы, инструментальные погрешности и флуктуации параметров. Сохранение этих факторов позволяет приблизить

дистанционное обучение к натурному эксперименту, требуя от обучающихся навыков статистической обработки результатов и анализа ошибок.

5. Аналитика и перспективы. Встроенные модули логирования фиксируют все действия пользователя и сохраняют массивы экспериментальных данных для построения динамических графиков. Архитектура системы является открытой для интеграции алгоритмов машинного обучения (ML), что в перспективе позволит внедрить инструменты предиктивного анализа поведения установок и адаптивной поддержки учебного процесса.

Результаты апробации и педагогический потенциал

Экспериментальная апробация разработанной облачной архитектуры осуществлялась с использованием экспериментального стенда, предназначенного для анализа механических колебательных процессов. Данное оборудование было укомплектовано прецизионными датчиками перемещения и виброускорения, а также приводами для генерации возмущений. В рамках апробации решались две ключевые задачи: расчет временного лага между инициированием команды и выводом данных на экран пользователя, а также мониторинг стабильности системы при масштабировании нагрузки.

Методика испытаний предполагала фиксацию сквозной задержки - от момента подачи управляющего сигнала до его визуального отображения в интерфейсе. Параллельно регистрировались экстремальные значения задержек (минимум и максимум) для различных сценариев интенсивности подключений. Систематизированные данные об изменении времени отклика в зависимости от объема трафика и количества активных сессий приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Задержки системы

Кол-во одновременных пользователей	Средняя задержка, мс	Минимальная задержка, мс	Максимальная задержка, мс
10	62	55	70
20	68	60	80
30	75	65	90
40	102	90	120
50	118	100	140

Анализ данных выявил прямую корреляцию между объемом сетевого трафика (количеством сессий) и временем отклика системы. При работе малых групп (до 20 человек) временной лаг варьируется в пределах 60–70 мс, что субъективно воспринимается как моментальная реакция оборудования. В условиях повышенной нагрузки (до 50 активных подключений) задержка возрастает до 100–120 мс. Однако даже такие показатели укладываются в рамки стандартов для интерактивных систем управления, не создавая дискомфорта при проведении опытов. Стабильность минимальных и пиковых значений задержки свидетельствует о высокой надежности выбранных протоколов передачи данных.

Полученные результаты доказывают, что предложенная программно-аппаратная архитектура эффективно масштабируется. Для дистанционного образования это является ключевым фактором, так как позволяет поддерживать высокое качество обучения в группах с большой численностью студентов.

С точки зрения педагогики, внедрение такой лаборатории качественно превосходит стандартное имитационное моделирование. Работа с реальным стендом позволяет учащимся:

- 1) Взаимодействовать с подлинными физическими явлениями, а не их программными упрощениями.
- 2) Осваивать методику оценки приборных погрешностей и сигнальных помех.
- 3) Верифицировать теоретические выкладки на основе эмпирических данных.
- 4) Приобретать навыки работы с телеметрическими системами и цифровой обработки сигналов.

Особого внимания заслуживает возможность организации групповой работы. Совместное управление и мониторинг физических процессов способствуют развитию гибких навыков:

критического мышления, умения работать в команде и оперативно принимать решения в динамически меняющихся условиях эксперимента. Таким образом, разработанная платформа представляет собой надежный инструмент для цифровизации инженерно-технического образования, объединяя технологическую устойчивость с глубокой академической ценностью.

Заключение

В рамках проведенного исследования была спроектирована и верифицирована комплексная программно-аппаратная среда, предназначенная для дистанционного проведения физических опытов в реальном времени. Иерархическая модель платформы, объединяющая клиентский интерфейс, серверный узел и физическое оборудование, гарантирует высокую точность управления, синхронность потоков данных и минимальное время отклика.

Технологическая эффективность: Эмпирические тесты подтвердили, что временной лаг при нагрузке до 50 активных сессий варьируется в диапазоне 60–120 мс. Такие показатели обеспечивают необходимый уровень интерактивности, позволяя сохранять стабильность управления даже в условиях массового использования системы.

Образовательный потенциал: Внедрение удаленного доступа к реальным стендам качественно меняет процесс обучения. В отличие от симуляций студенты взаимодействуют с «живыми» измерениями, учатся учитывать аппаратные погрешности и сопоставлять теоретические гипотезы с эмпирическими результатами, что напрямую способствует росту цифровых и исследовательских навыков.

Рецензент: Хасанов Дж.Р. – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и цифровой экономики ИЦПТУМ, МУПТУП.

Литература

1. Syzdykbayeva, A. Baikulova and R. Kerimbayeva, "Introduction of Artificial Intelligence as the Basis of Modern Online Education on the Example of Higher Education," 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Nur-Sultan, Kazakhstan, 2021, pp. 1-8, doi: 10.1109/SIST50301.2021.9465974.
2. I. Kocsis, B. Burján-Mosoni and I. Balajti, "A Comprehensive Review of Key Cyber-Physical Systems, and Assessment of Their Education Challenges," in IEEE Access, vol. 13, pp. 8898-8911, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3527714.
3. S. Liu, "Design of University Life Safety Education Course Scheduling System Based on Improved SFLA Algorithm," 2024 8th Asian Conference on Artificial Intelligence Technology (ACAIT), Fuzhou, China, 2024, pp. 679-683, doi: 10.1109/ACAIT63902.2024.11022262.
4. J. Jeon, J. Jang and S. Ki Jung, "Development and Validation of an AI-Powered OCR Educational Tool for Early Handwriting Instruction for Korean Early Elementary Students," in IEEE Access, vol. 14, pp. 7005-7015, 2026, doi: 10.1109/ACCESS.2026.3651759.
5. Z. Ahmad, S. Rahim, M. Zubair, and J. Abdul-Ghafar, "Artificial intelligence (AI) in medicine, current applications and future role with special emphasis on its potential and promise in pathology: Present and future impact, obstacles including costs and acceptance among pathologists, practical and philosophical considerations. A comprehensive review," Diagnostic Pathol., vol. 16, no. 1, p. 24, Dec. 2021.
6. M. I. B. Ahmed, R. Zaghdoud, M. S. Ahmed, R. Sendi, S. Alsharif, J. Alabdulkarim, B. A. A. Saad, R. Alsabt, A. Rahman, and G. Krishnasamy, "A real-time computer vision based approach to detection and classification of traffic incidents," Big Data Cognit. Comput., vol. 7, no. 1, p. 22, Jan. 2023.
7. C. Butler, R. Pimenta, J. Tommerdahl, C. T. Fuchs, and P. Caçola, "Using a handwriting app leads to improvement in manual dexterity in kindergarten children," Res. Learn. Technol., vol. 27, Apr. 2019, doi: 10.25304/rlt.v27.2135.
8. N. Majid and E. H. B. Smith, "Character spotting and autonomous tagging: Offline handwriting recognition for Bangla, Korean and other alphabetic scripts," Int. J. Document Anal. Recognit. (IJDAR), vol. 25, no. 4, pp. 245–263, Dec. 2022.
9. L. Juguang and Z. Hua, "Improving Building Intellectualization Level with High-Performance Embedded Technology," 2013 Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications, Zhangjiajie, China, 2013, pp. 357-359, doi: 10.1109/ISDEA.2013.485.
10. Костикова Л. П., Есенина Н. Е., Ольков А. С. Искусственный интеллект в образовательном процессе современного университета: результаты опроса студентов // Концепт. – 2025. – № 2. – С. 93-109.
11. Романова Л. Л. Специфика профессионального обучения в условиях развития цифровизации и искусственного интеллекта // Концепт. – 2023. – № 7. – С. 130-141.

12. Осипова Л. Б. Искусственный интеллект в образовании: реальные возможности и перспективы // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2024. – №. 1. – С. 60-73.
13. Буякова К. И. и др. Отношение студентов и преподавателей к использованию инструментов с генеративным искусственным интеллектом в вузе // Образование и наука. – 2024. – Т. 26. – №. 7. – С. 160-193.
14. H. -P. Hsu and S. -W. Yang, "Optimization of Component Sequencing and Feeder Assignment for a Chip Shooter Machine Using Shuffled Frog-Leaping Algorithm," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 17, no. 1, pp. 56-71, Jan. 2020, doi: 10.1109/TASE.2019.2916925.
15. Qiqi Pi, Jinyong Yu, Hao Sun, Xinghu Yu, Zhengkai Li, Jianbin Qiu, Juan J. Rodríguez-Andina, Huijun Gao, "Finite Potential Game Heuristic Algorithm for Workload Allocation in Dual-Gantry Placement Machines", IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol.21, no.3, pp.2064-2073, 2025
16. Xiwang Guo, Chenyang Fan, Mengchu Zhou, Shixin Liu, Jiacun Wang, Shujin Qin, Ying Tang, "Human–Robot Collaborative Disassembly Line Balancing Problem with Stochastic Operation Time and a Solution via Multi-Objective Shuffled Frog Leaping Algorithm", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol.21, no.3, pp.4448-4459, 2024.
17. Назаров, А. Ш. DDoS-атаки и средства защиты от них / А. Ш. Назаров, И. Т. Ли // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 1(61). – С. 42-45. – EDN VZKHKQ.
18. Каримов, А. А. О цифровом портрете текстовой информации / А. А. Каримов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 1(45). – С. 7-10. – EDN BVSGNV.

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

TJ	RU	EN
Ван Цуйцуй	Ван Цуйцуй	Wang Cuicui
Докторант PhD	Докторант PhD	PhD Student
Донишқадаи омӯзгорӣи Тоҷикистон дар шаҳри Панҷакент	Таджикский педагогический институт в г. Пенджикент	Tajik Pedagogical Institute in Panjakent town
E-mail: 362049385@qq.com		
ORCID: 0000-0002-1200-7795		

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ВУЗЕ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭМПИРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГОТОВНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Луо Хайбо

Таджикский педагогический институт в городе Пенджикент

В статье анализируются теоретико-методологические и прикладные аспекты внедрения искусственного интеллекта в экосистему высшей школы с целью интеллектуализации образовательной деятельности. Проведение исследования продиктовано ростом административно-педагогической нагрузки на преподавателей и объективной необходимостью автоматизации шаблонных операций в рамках глобальной цифровизации высшего образования. Основной акцент сделан на комплексной оценке профессиональной готовности кадров к работе с ИИ, а также на выявлении ключевых факторов, определяющих использование интеллектуальных систем в управлении обучением и контроле знаний студентов. На базе количественного опроса и методов образовательной аналитики авторами зафиксирован высокий уровень лояльности академической среды к новым технологиям. Вместе с тем, несмотря на выраженный запрос на прогностический инструментарий и курсы повышения квалификации, выявлены серьезные структурные и методические барьеры, сдерживающие системную интеграцию данных решений в учебный процесс.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровая трансформация образования, образовательная аналитика, автоматизация оценивания, высшая школа.

ЗЕХНИГАРДОНИИ (ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАТСИЯИ) РАВАНДИ ТАЪЛИМӢ ДАР МАКТАБИ ОЛӢ ДАР АСОСИ СИСТЕМАҲОИ ЗЕХНИ СУНӢЙ: НАТИҶАҲОИ ТАДҚИҚОТИ ЭМПИРИКИИ ОМОДАГИИ ОМӢЗГОРОНШАРҲИ МУХТАСАР

Луо Хайбо

Дар мақола ҷанбаҳои назариявӣ методологӣ ва амалии ҷорӣ намудани зеҳни сунӣ ба экосистемаи мактаби оӣ бо мақсади зеҳнигардонии (интеллектуализатсияи) ғайрияти таълимӣ мавриди таҳлил қарор гирифтаанд. Гузаронидани тадқиқот бо афзоиши бори маъмурию педагогӣ ба дӯши омӯзгорон ва зарурати воқеии автоматикунонии амалиётҳои қолабӣ дар доираи рақамикунонии фароғири таҳсилоти оӣ асоснок карда мешавад. Таваҷҷуҳи асосӣ ба арзёбии ҳамаҷонибаи омодагии касбии кадрҳо барои кор бо зеҳни сунӣ, инчунин муайян кардани омилҳои калидӣ, ки истифодаи системаҳои зеҳнӣро дар идоракунии таълим ва назорати дониши донишҷӯён муайян мекунад, равона шудааст. Дар асоси назарсанҷии микдорӣ ва усулҳои таҳлили таълимӣ аз ҷониби муаллифони сатҳи баланди садоқати (лоялнокии) муҳити академӣ ба технологияҳои нав ба қайд гирифта шудааст. Ҳамзамон, сарфи назар аз талаботи зиёд ба воситаҳои пешгӯикунанда ва курсҳои тақмили ихтисос, монетаҳои ҷиддии сохторӣ ва методологӣ муайян карда шудаанд, ки ба ҳамгироии системавии ин қарорҳо дар раванди таълим ҳалал мерасонанд.

Калидвожаҳо: зеҳни сунӣ, таҳаввулотии рақамии таҳсилот, таҳлили таълимӣ, автоматикунонии арзёбӣ, мактаби оӣ.

INTELLECTUALIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS: RESULTS OF AN EMPIRICAL STUDY OF TEACHER READINESS

Luo Haibo

This paper explores the conceptual and practical aspects of integrating artificial intelligence into the university ecosystem to intellectualize pedagogical workflows. The study is motivated by the escalating administrative and teaching pressure on faculty, alongside the urgent need to automate repetitive educational tasks during the broader digital shift in higher learning. The primary objective is to evaluate how prepared academic staff are for AI adoption and to pinpoint key variables that dictate the use of intelligent systems in learning management and student assessment. Drawing on a quantitative survey of university educators and educational analytics, the research highlights a strong sense of professional receptivity toward AI. However, while there is a clear demand for predictive tools and advanced training, the findings also underscore significant structural and methodological bottlenecks that hinder full-scale implementation.

Keywords: artificial intelligence, digital transformation of education, educational analytics, automated assessment, higher education.

Введение

В современных условиях формирования экономики знаний цифровая трансформация выступает фундаментальным вектором развития высшей школы. Постоянное расширение информационных потоков, интеграция гибридных форматов обучения и рост числа студентов провоцируют резкое увеличение нагрузки на преподавательский корпус. Сегодня значительный объем времени педагогов поглощается рутинными задачами: проверкой однотипных контрольных

работ, тестированием и обработкой расчетных данных. Это неизбежно создает дефицит ресурсов для полноценной научной работы и совершенствования образовательных методик [1-7].

В данной ситуации внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) становится стратегической необходимостью. Интеллектуальные системы позволяют автоматизировать мониторинг учебного процесса, объективизировать оценку знаний и предоставить аналитическую базу для принятия управленческих решений в педагогике [8-11]. Тем не менее, эффективность такой интеграции напрямую коррелирует с психологической и профессиональной готовностью сотрудников, качеством технической базы и наличием проработанных регламентов [12-18].

Настоящая работа посвящена исследованию того, насколько академическое сообщество вуза готово к использованию ИИ-технологий. В фокусе внимания — определение драйверов и барьеров, влияющих на внедрение интеллектуальных инструментов в практику управления обучением и верификации образовательных достижений студентов.

Постановка проблемы исследования

В современной практике высшей школы наблюдается диссонанс между стремительным технологическим прогрессом и реальным положением дел. Прежде всего, это проявляется в конфликте между жесткими стандартами качества образования и прогрессирующим дефицитом времени у преподавателей. Кроме того, колоссальный потенциал алгоритмов ИИ сталкивается с «правовым вакуумом» — отсутствием четких методических и нормативных регламентов их использования. Наконец, существует разрыв между актуальным запросом на внедрение предиктивной аналитики и сохраняющимся приоритетом классических, реактивных методов мониторинга успеваемости.

Вышеуказанные несоответствия очерчивают контур научной проблемы: внедрение ИИ в образовательную среду носит фрагментарный характер и не имеет под собой прочного системного фундамента. Это диктует необходимость проведения эмпирического исследования, которое позволит оценить реальное отношение академического сообщества к инновациям и определить параметры их успешной практической адаптации.

Материалы и методы исследования

Практический фундамент работы составили данные, полученные в ходе анкетирования преподавательского состава университета. Исследовательский инструментарий был сфокусирован на изучении нескольких критических зон:

- **Трудозатраты и рутина:** анализ времени, которое педагоги вынуждены тратить на ручную проверку стандартных студенческих работ.
- **Восприятие инноваций:** оценка готовности делегировать алгоритмам функции частичного контроля и верификации знаний.
- **Предиктивные возможности:** изучение запроса на инструменты мониторинга, позволяющие вовремя идентифицировать отстающих студентов («группу риска»).
- **Технологические и когнитивные барьеры:** выявление факторов, сдерживающих активную диффузию ИИ-решений в учебное пространство.
- **Образовательный апгрейд:** фиксация мотивации преподавателей к освоению новых компетенций в сфере интеллектуальных систем.

Методология базируется на синтезе количественного анализа и инструментов образовательной аналитики. Такой подход позволил не просто собрать статистику, но и провести глубокую интерпретацию данных через призму цифровой дидактики и современных концепций менеджмента в образовании. Визуализация полученных результатов в форме графических моделей обеспечивает наглядность и доказательность представленных выводов.

Экспериментальное исследование и анализ результатов

Исследование структуры рабочего времени показало критический дисбаланс: существенная доля опрошенных расходует на проверку однотипных студенческих работ от 10 до 20 часов еженедельно. Фактически трудозатраты на выполнение этой операционной деятельности поглощают до половины стандартного рабочего графика (см. рис. 1). Полученные цифры подтверждают гипотезу о доминировании рутинных процессов в структуре занятости

преподавателей. Такая перегрузка создает «эффект выгорания» и выступает деструктивным фактором, блокирующим возможности для реализации исследовательских инициатив и совершенствования творческих подходов в педагогике.

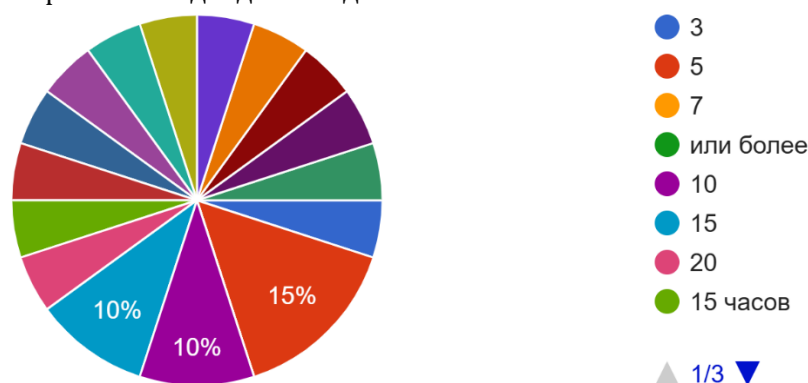


Рисунок 1 – Распределение временных затрат преподавателей на рутинную проверку работ

Данные статистического мониторинга временного бюджета (см. Рис. 1) фиксируют аномально высокий уровень административно-технической нагрузки на академический персонал. Исследование показало, что проверка рутинных учебных материалов поглощает от 10 до 20 часов рабочего времени в неделю, что эквивалентно половине стандартного трудового графика. Превалирование репродуктивных функций — мониторинга тестовых заданий и типовых расчетов — формирует своего рода «функциональную ловушку», препятствующую научно-педагогическому поиску и саморазвитию преподавателя. В контексте цифровой модернизации университета эти цифры выступают фундаментом для внедрения интеллектуальных систем, способных принять на себя выполнение алгоритмизированных задач и высвободить ресурс для творческой деятельности.

Параллельно с этим анализ восприятия инноваций (см. Рис. 2) выявил позитивную динамику академической лояльности к алгоритмизации оценивания. Подавляющее большинство участников опроса (свыше 90%) не исключают интеграцию ИИ в процесс верификации студенческих достижений. Примечательно, что ИИ позиционируется экспертным сообществом не как замена педагогу, а как эффективный цифровой ассистент, оптимизирующий работу с жестко формализованными данными. Такой подход коррелирует с концепцией «преподавателя как ведущего звена», где технологические решения выступают лишь инструментом поддержки принятия педагогических решений.

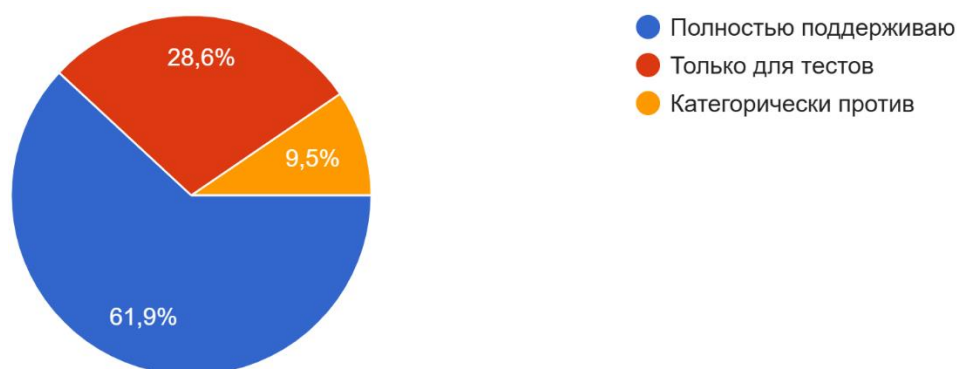


Рисунок 2 – Уровень академической лояльности к автоматизированным системам оценивания

Результаты мониторинга восприятия ИИ-технологий в контексте верификации знаний (см. Рис. 2) отражают преобладание технологического оптимизма в профессиональной среде.

Совокупный уровень одобрения, достигающий **90,5%**, подтверждает психологическую открытость академического сообщества к передаче части контрольных функций интеллектуальным агентам.

Детализация ответов выявляет важный нюанс: если **61,9%** опрошенных выступают за полномасштабную интеграцию, то **28,6%** ограничивают сферу применения ИИ автоматизацией тестовых форм контроля. Это указывает на устойчивый приоритет человеческой экспертизы при оценке комплексных, нестандартных работ. Данные опроса позволяют пересмотреть стереотип о тотальном консерватизме высшей школы; напротив, педагоги видят в искусственном интеллекте комплементарный ресурс, что создает благоприятную почву для реализации концепции **«human-in-the-loop»** (человек в контуре управления).

Отдельным вектором исследования выступил запрос на внедрение предиктивных инструментов анализа студенческой вовлеченности (см. Рис. 3). Высокая заинтересованность в механизмах раннего обнаружения обучающихся из «зоны риска» сигнализирует о смене парадигмы: от констатации академических задолженностей вуз переходит к проактивному менеджменту образовательных траекторий. В основе этой модели лежит глубокая обработка «цифрового следа» в системах управления обучением (LMS), что позволяет превентивно корректировать учебный процесс.

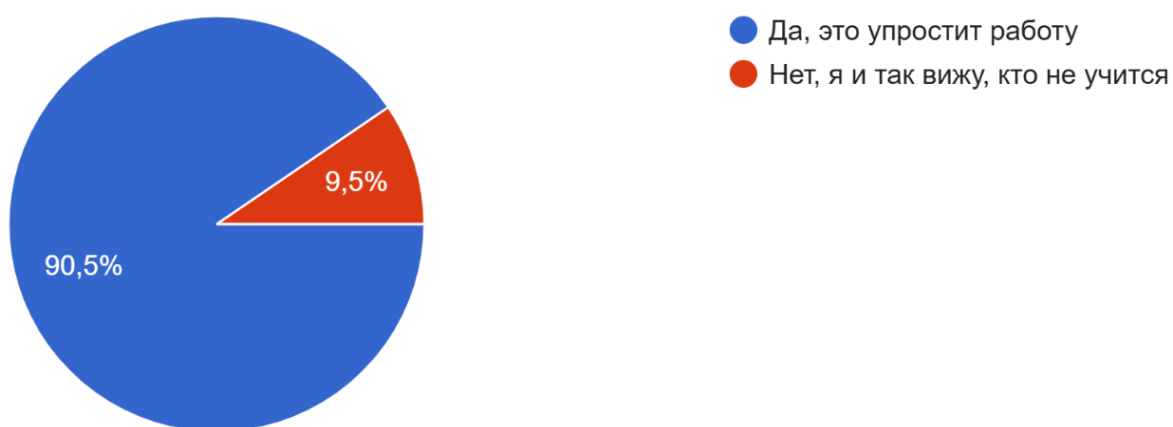


Рисунок 3 – Потребность в проактивных системах предиктивной аналитики («Группа риска»)

Данные, отраженные на Рисунке 3, подтверждают фундаментальный сдвиг в методологии образовательного контроля: переход от реактивной фиксации неудач к проактивному прогнозированию. Консолидированное мнение **90,5%** опрошенных подчеркивает, что классический визуальный мониторинг в цифровой среде окончательно утратил свою результативность. В академической среде сформировался четкий запрос на внедрение алгоритмов **Data Mining**, способных интерпретировать «цифровой след» студента в LMS и распознавать деструктивные поведенческие паттерны еще до момента наступления кризиса успеваемости. Таким образом, создание интеллектуальных модулей мониторинга становится не просто опцией, а базовым элементом архитектуры современной системы управления обучением.

Анализ факторов, сдерживающих интеграцию ИИ (см. Рис. 4), позволил ранжировать ключевые препятствия. На первый план вышли инфраструктурные ограничения и дефицит системных методических регламентов. Интересно, что субъективный уровень цифровых компетенций не воспринимается педагогами как критический барьер. Это свидетельствует о высоком адаптивном потенциале кадрового состава: преподаватели психологически готовы к технологическому переоснащению, если вуз обеспечит адекватную техническую поддержку и понятную дорожную карту внедрения инноваций.

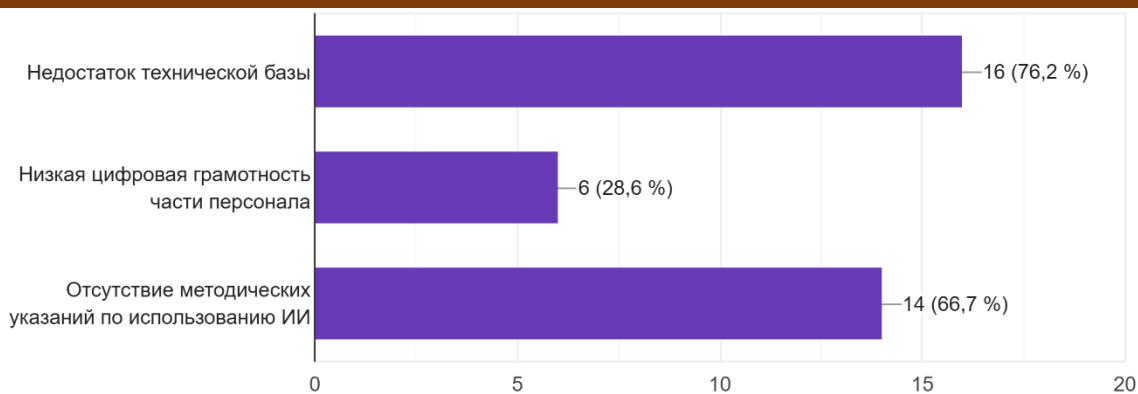


Рисунок 4 – Структурный анализ барьеров внедрения ИИ в образовательную среду

Результаты идентификации стоп-факторов (см. Рис. 4) позволяют выстроить иерархию препятствий на пути к технологической трансформации. В качестве доминирующей проблемы респонденты выделили «дефицит инфраструктурных ресурсов» (76,2%), что отражает глобальный тренд преодоления цифрового неравенства. В то же время, высокий запрос на разработку «методических регламентов» (66,7%) свидетельствует об институциональном вакууме: в вузах пока не сформирована нормативная среда, легитимизирующая ИИ в образовательном пространстве. Таким образом, эффективная интеграция ИИ-решений невозможна без параллельного обновления дидактических стандартов.

Минимальная значимость фактора «недостаточной цифровой компетенции» (28,6%) служит индикатором высокого адаптивного потенциала коллектива. Педагоги демонстрируют психологическую готовность к освоению инноваций, если им будет предоставлен доступ к надежному инструментарию и адекватным методикам.

Финальным аргументом в пользу возможности масштабных преобразований выступает беспрецедентный уровень мотивации к профессиональному росту: 95,2% опрошенных выразили желание пройти обучение в области технологий искусственного интеллекта (см. Рис. 5). Такие показатели формируют прочный фундамент для тиражирования интеллектуальных систем и позволяют рассматривать вуз как перспективную площадку для развертывания адаптивных образовательных экосистем.

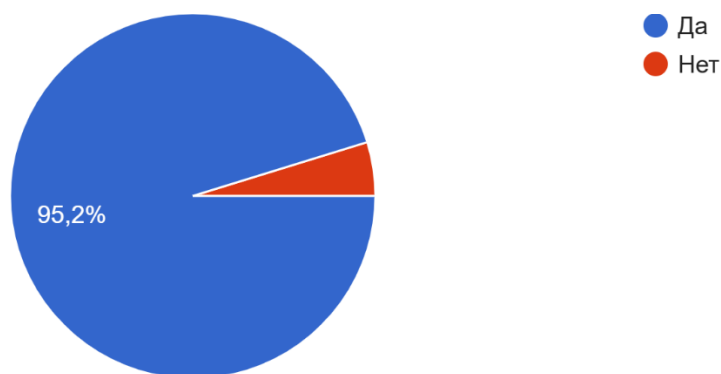


Рисунок 5 – Оценка потенциала масштабируемости инноваций через профессиональное развитие

Итоговые данные (см. Рис. 5) фиксируют практически абсолютную солидарность преподавательского сообщества в вопросе профессионального развития: 95,2% участников опроса подтвердили намерение осваивать технологии искусственного интеллекта. Столь консолидированная позиция служит неоспоримым доказательством того, что педагоги осознают неизбежность интеграции ИИ в архитектуру высшего образования. Выявленный уровень мотивации

выступает стратегическим сигналом («зеленым светом») для развертывания комплексных образовательных инициатив в области **AI-Literacy**. Это позволяет сделать вывод, что предлагаемая в рамках диссертационного исследования система получит необходимую поддержку со стороны ключевых стейкхолдеров — преподавателей. Готовность кадров к эксплуатации и развитию интеллектуальных инструментов существенно снижает вероятность психологического сопротивления инновациям и гарантирует устойчивость процесса цифровой трансформации вуза.

Заключение

Проведённое исследование позволило сформировать объемное представление о степени адаптации вузовской среды к интеграции ИИ-технологий. Полученные в ходе работы сведения указывают на критический переко́с в структуре деятельности преподавателей: чрезмерная концентрация на механических формах контроля знаний существенно ограничивает академический потенциал персонала, отодвигая на второй план научное и методическое развитие.

Анализ мнений респондентов выявил устойчивый тренд на технологическую открытость. Преподаватели демонстрируют высокую лояльность к внедрению автоматизированных инструментов оценки и мониторинга вовлеченности студентов. Особый интерес вызывают системы предиктивной аналитики для идентификации студентов из «группы риска». Это свидетельствует о фундаментальной смене приоритетов в высшей школе: от традиционной констатации пробелов в знаниях к превентивному управлению качеством обучения на базе анализа больших данных.

Несмотря на оптимизм кадрового состава, были зафиксированы системные препятствия: дефицит современной инфраструктуры и отсутствие легитимных методических стандартов использования ИИ. Тем не менее, выраженное желание педагогов совершенствовать свои компетенции в области интеллектуальных систем формирует надежный базис для масштабирования инноваций.

Подводя итог, можно утверждать, что концепция «ИИ как цифровой ассистент» выступает наиболее эффективным вектором модернизации высшего образования. Дальнейшие научные изыскания в данной области должны быть сфокусированы на создании практических моделей внедрения алгоритмов в учебный план и изучении их непосредственного влияния на академические достижения студентов.

Рецензент: Хасанов Д.Ж.Р. – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и цифровой экономики ИЦПТУИ, МУПТУИ.

Литература

1. Syzdykbayeva, A. Baikulova and R. Kerimbayeva, "Introduction of Artificial Intelligence as the Basis of Modern Online Education on the Example of Higher Education," 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Nur-Sultan, Kazakhstan, 2021, pp. 1-8, doi: 10.1109/SIST50301.2021.9465974.
2. I. Kocsis, B. Burján-Mosoni and I. Balajti, "A Comprehensive Review of Key Cyber-Physical Systems, and Assessment of Their Education Challenges," in IEEE Access, vol. 13, pp. 8898-8911, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3527714.
3. S. Liu, "Design of University Life Safety Education Course Scheduling System Based on Improved SFLA Algorithm," 2024 8th Asian Conference on Artificial Intelligence Technology (ACAIT), Fuzhou, China, 2024, pp. 679-683, doi: 10.1109/ACAIT63902.2024.11022262.
4. J. Jeon, J. Jang and S. Ki Jung, "Development and Validation of an AI-Powered OCR Educational Tool for Early Handwriting Instruction for Korean Early Elementary Students," in IEEE Access, vol. 14, pp. 7005-7015, 2026, doi: 10.1109/ACCESS.2026.3651759.
5. Z. Ahmad, S. Rahim, M. Zubair, and J. Abdul-Ghafar, "Artificial intelligence (AI) in medicine, current applications and future role with special emphasis on its potential and promise in pathology: Present and future impact, obstacles including costs and acceptance among pathologists, practical and philosophical considerations. A comprehensive review," Diagnostic Pathol., vol. 16, no. 1, p. 24, Dec. 2021.
6. M. I. B. Ahmed, R. Zaghdoud, M. S. Ahmed, R. Sendi, S. Alsharif, J. Alabdulkarim, B. A. A. Saad, R. Alsabt, A. Rahman, and G. Krishnasamy, "A real-time computer vision based approach to detection and classification of traffic incidents," Big Data Cognit. Comput., vol. 7, no. 1, p. 22, Jan. 2023.
7. C. Butler, R. Pimenta, J. Tommerdahl, C. T. Fuchs, and P. Caçola, "Using a handwriting app leads to improvement in manual dexterity in kindergarten children," Res. Learn. Technol., vol. 27, Apr. 2019, doi: 10.25304/rlt.v27.2135.

8. N. Majid and E. H. B. Smith, "Character spotting and autonomous tagging: Offline handwriting recognition for Bangla, Korean and other alphabetic scripts," Int. J. Document Anal. Recognit. (IJ DAR), vol. 25, no. 4, pp. 245–263, Dec. 2022.
9. L. Juguang and Z. Hua, "Improving Building Intellectualization Level with High-Performance Embedded Technology," 2013 Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications, Zhangjiajie, China, 2013, pp. 357-359, doi: 10.1109/ISDEA.2013.485.
10. Костикова Л. П., Есенина Н. Е., Ольков А. С. Искусственный интеллект в образовательном процессе современного университета: результаты опроса студентов //Концепт. – 2025. – №. 2. – С. 93-109.
11. Романова Л. Л. Специфика профессионального обучения в условиях развития цифровизации и искусственного интеллекта //Концепт. – 2023. – №. 7. – С. 130-141.
12. Осипова Л. Б. Искусственный интеллект в образовании: реальные возможности и перспективы //Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2024. – №. 1. – С. 60-73.
13. Буякова К. И. и др. Отношение студентов и преподавателей к использованию инструментов с генеративным искусственным интеллектом в вузе //Образование и наука. – 2024. – Т. 26. – №. 7. – С. 160-193.
14. H. -P. Hsu and S. -W. Yang, "Optimization of Component Sequencing and Feeder Assignment for a Chip Shooter Machine Using Shuffled Frog-Leaping Algorithm," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 17, no. 1, pp. 56-71, Jan. 2020, doi: 10.1109/TASE.2019.2916925.
15. Qiqi Pi, Jinyong Yu, Hao Sun, Xinghu Yu, Zhengkai Li, Jianbin Qiu, Juan J. Rodríguez-Andina, Huijun Gao, "Finite Potential Game Heuristic Algorithm for Workload Allocation in Dual-Gantry Placement Machines", IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol.21, no.3, pp.2064-2073, 2025
16. Xiwang Guo, Chenyang Fan, Mengchu Zhou, Shixin Liu, Jiacun Wang, Shujin Qin, Ying Tang, "Human–Robot Collaborative Disassembly Line Balancing Problem With Stochastic Operation Time and a Solution via Multi-Objective Shuffled Frog Leaping Algorithm", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol.21, no.3, pp.4448-4459, 2024.
17. Study of the operating modes of the 0.4 kV main distribution network, in Dushanbe city of the Republic of Tajikistan, with distributed solar generation for power losses and power quality estimation / K. B. Nazirov, G. V. Shvedov, S. R. Chorshanbiev, S. D. Dzhuraev // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018, St. Petersburg and Moscow, 29 января – 01 2018 года. – St. Petersburg and Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. – P. 737-742. – DOI 10.1109/ElConRus.2018.8317197. – EDN YCHPNB.
18. 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.
19. Каюмов, М. М. О распознавании автора текста на основе частотности $\alpha\beta$ - кодов словоформ / М. М. Каюмов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 2(50). – С. 29-36. – EDN VEVGLV.
20. Курбонов, Н. М. Об автоматическом распознавании на основе униграмм шифров авторефератов по педагогике / Н. М. Курбонов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 3(55). – С. 47-51. – EDN QKRNTT.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ — СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ — INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Луо Хайбо	Луо Хайбо	Luo Haibo
Докторант PhD	Докторант PhD	PhD Student
Донишкадаи омӯзгории Тоҷикистон дар шаҳри Панҷакент	Таджикский педагогический институт в г. Пенджикент	Tajik Pedagogical Institute in Panjakent town
E-mail: luohb@nfu.edu.cn		
ORCID: 0000-0002-1200-6978		

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ АВТОРЕГРЕССИОННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ СИГНАЛОВ В СЕТЯХ 5G

Б.Б. Саидов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В работе рассматривается возможность повышения эффективности сетей связи пятого поколения за счёт использования методов интеллектуального прогнозирования. Цель исследования заключается в применении нелинейной авторегрессионной нейронной сети (NARNN) для анализа и прогнозирования изменений параметров радиосигнала в сетях 5G с последующим проактивным управлением радиоресурсами. В качестве исходных данных использованы временные ряды показателей RSRP и SINR, характеризующие состояние радиоканала. Моделирование выполнено с использованием нейросетевой архитектуры с временными задержками, обученной на экспериментальных данных. Оценка качества прогноза проводилась на основе стандартных метрик ошибки. Результаты исследования показывают, что применение NARNN позволяет заранее выявлять снижение качества соединения и адаптировать параметры сети, обеспечивая более устойчивую и надёжную работу сетей пятого поколения.

Ключевые слова: сети пятого поколения, нелинейная авторегрессионная нейронная сеть, прогнозирование сигналов, временные ряды, управление радиоресурсами, качество связи.

ТАТБИҚИ ШАБАКАИ НЕЙРОНИИ АВТОРЕГРЕССИОНИИ ҒАЙРИХАТТӢ БАРОИ ТАҲЛИЛИ ПЕШГУИШАВАНДА ВА БЕҲСОЗИИ СИГНАЛҲО ДАР ШАБАКАҲОИ 5G

Б.Б. Саидов

Дар мақола имконияти баланд бардоштани самаранокии шабакаҳои алоқаи насли панҷум бо истифода аз усулҳои пешгуи зехнӣ баррасӣ шудааст. Ҳадафи таҳқиқот истифодаи шабакаи нейронии авторегрессии ғайрихаттӣ (NARNN) барои таҳлил ва пешгуи тағйирёбии параметрҳои сигнали радио дар шабакаҳои 5G ва идоракунии пешакӣ-и захираҳои радиоташунавӣ мебошад. Ҳамчун додаҳои ибтидоӣ қаторҳои вақти нишондиҳандаҳои RSRP ва SINR, ки ҳолати канали радиоро тавсиф мекунанд, истифода шуданд. Моделсозӣ бо истифода аз сохтори шабакаи нейронӣ бо таъхирҳои вақтӣ, ки бар асоси додаҳои таҷрибавӣ омӯзонида шудааст, анҷом дода шуд. Сифати пешгуи бо истифода аз нишондиҳандаҳои стандартӣ ҳатогӣ арзёбӣ гардид. Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки истифодаи NARNN имкон медиҳад пастшавии сифати алоқа пешакӣ ошкор шуда, параметрҳои шабака мутобиқ гарданд, ки ин ба кори устувор ва боэътимоди шабакаҳои насли панҷум мусоидат мекунад.

Калидвожаҳо: шабакаҳои насли панҷум, шабакаи нейронии авторегрессии ғайрихаттӣ, пешгуи сигналҳо, қаторҳои вақт, идоракунии захираҳои радио, сифати алоқа.

APPLICATION OF NONLINEAR AUTOREGRESSIVE NEURAL NETWORK FOR PREDICTIVE ANALYSIS AND SIGNAL OPTIMIZATION IN 5G NETWORKS

B.B. Saidov

This paper explores the possibility of improving the efficiency of fifth-generation communication networks through the use of intelligent forecasting methods. The aim of the study is to apply a nonlinear autoregressive neural network (NARNN) for the analysis and prediction of changes in radio signal parameters in 5G networks, followed by proactive radio resource management. Time series of RSRP and SINR indicators characterizing the state of the radio channel are used as input data. The modeling is carried out using a neural network architecture with time delays trained on experimental data. The forecasting accuracy is evaluated using standard error metrics. The results demonstrate that the application of NARNN makes it possible to detect signal quality degradation in advance and adapt network parameters, thereby ensuring more stable and reliable operation of fifth-generation networks.

Keywords: fifth-generation networks, nonlinear autoregressive neural network, signal forecasting, time series, radio resource management, communication quality.

Введение

Развертывание и коммерческая эксплуатация сетей пятого поколения (5G) ознаменовали новую эру в телекоммуникациях, предложив беспрецедентные скорости передачи данных, сверхнадежные соединения с низкой задержкой (URLLC) и массовое подключение устройств (mMTC). Однако реализация этих амбициозных преимуществ сталкивается с серьезными техническими вызовами [1-5]. В отличие от предыдущих поколений сети 5G характеризуются высокой гетерогенностью, использованием миллиметровых волн и сложными механизмами, такими как массивный MIMO и формирование луча [6-10].

Эффективность таких сложных систем напрямую зависит от способности динамически и интеллектуально управлять радиоресурсами. Качество принимаемого сигнала (RSRP, SINR)

подвержено постоянным и быстрым изменениям из-за мобильности пользователей, многолучевого распространения, замираний и интерференции. Традиционные (реактивные) методы управления, реагирующие на уже произошедшее ухудшение C-V2X (качества), недостаточны для поддержания требуемых параметров QoS/QoE [10-12].

Возникает острая необходимость в проактивных (предиктивных) механизмах, способных прогнозировать будущее состояние канала. Однако сигналы в сетях 5G представляют собой сложные нелинейные временные ряды. Попытки их моделирования с помощью классических линейных авторегрессионных моделей (AR, ARMA) часто приводят к низкой точности прогноза, поскольку они не могут уловить всю сложность и нелинейные зависимости в данных.

В последние годы методы машинного обучения (ML) и, в частности, нейронные сети, демонстрируют выдающиеся результаты в решении задач анализа временных рядов. Для прогнозирования состояния радиоканала особый интерес представляют рекуррентные архитектуры [13-16].

В данной работе в качестве основного инструмента предлагается нелинейная авторегрессионная нейронная сеть (NARNN). Эта архитектура является динамической нейронной сетью, которая явным образом использует прошлые значения прогнозируемого ряда в качестве входных данных, что делает ее идеально подходящей для моделирования временных зависимостей. В отличие от своих линейных аналогов NARNN способна аппроксимировать сложные нелинейные функции, лежащие в основе динамики сигнала 5G.

Целью данной работы является исследование и демонстрация эффективности применения нелинейной авторегрессионной нейронной сети для предиктивного анализа и последующей оптимизации параметров сигнала в сетях 5G.

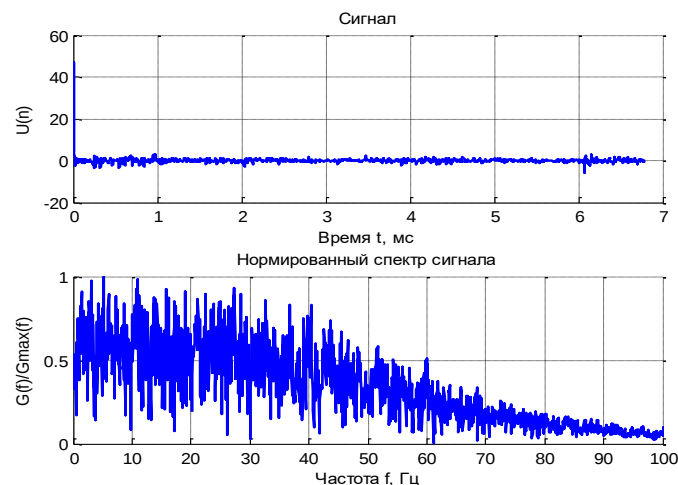


Рисунок 1 – Сигнал третьего типа и его спектральная плотность мощности

Модель нелинейной авторегрессионной сети

Для проведения моделирования была использована нелинейная авторегрессионная нейронная сеть (НАРС) с параметрами, заданными по умолчанию. Конфигурация сети и параметры обучения имели следующий вид:

- Алгоритм обучения: BFGS (квазиньютоновский метод).
- Метод одномерного поиска: алгоритм Чараламбуса.
- Начальная скорость обучения: 0,1.
- Объем обучающей выборки: 4300 отсчётов.
- Объем валидационной (проверочной) выборки: 1600 отсчётов.
- Тип распределения данных: случайное разбиение на обучающую, проверочную и тестовую выборки.
- Количество нейронов скрытого слоя: 9.
- Количество выходных нейронов (прогнозируемых отсчётов): 4.
- Глубина задержки входного сигнала: 3 временных шага.

Таблица 1– Результаты обучения НАРС сети и прогноза на 4 отсчета

Результаты обучения				
Время обучения (секунд)	Количество итераций	Причина останова	Значение градиента	Значение параметра минимизации
74.950000	66	Validation stop	1.604297e-01	3.720646e-02
Результат прогноза на тестовом множестве: Ошибки прогноза				
Для 1-го нейрона				
CAO	СКО		СПО	
1.035035e-01	2.657801e-02		33.000326 %	
Для 2-го нейрона				
CAO	СКО		СПО	
1.154178e-01	2.909257e-02		-1.197022 %	
Для 3-го нейрона				
CAO	СКО		СПО	
1.646659e-01	5.293383e-02		-1.197022 %	
Для 4-го нейрона				
CAO	СКО		СПО	
2.348273e-01	9.366414e-02		157.485184 %	

Окно обучения со структурой сети и структура сети после удаления задержки показаны на рисунке 2. На рисунке 3 показан график изменения СКО. На рисунках 4-7 представлены графики прогноза и соответствующих ошибок для проверочного множества.

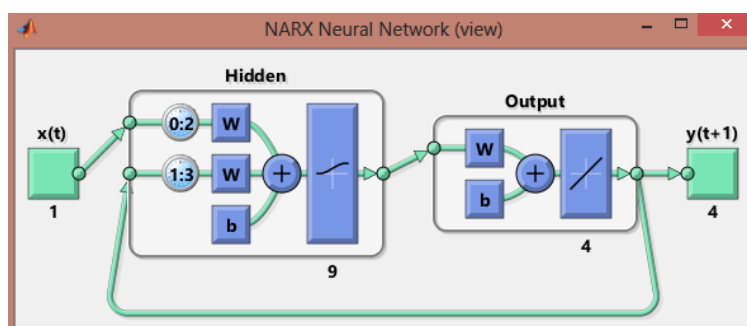


Рисунок 2 – Модифицированная структура сети после исключения задержки (нижнее окно)

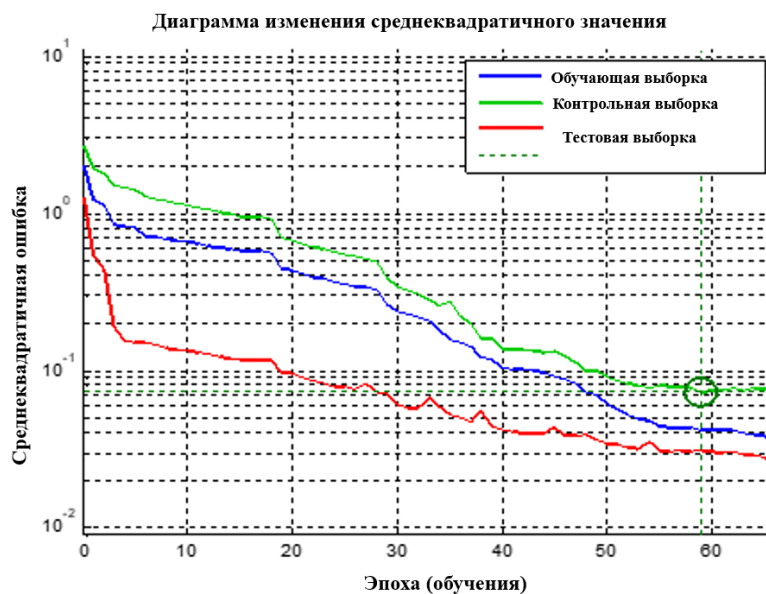


Рисунок 3 – Изменение среднеквадратической ошибки в ходе обучения

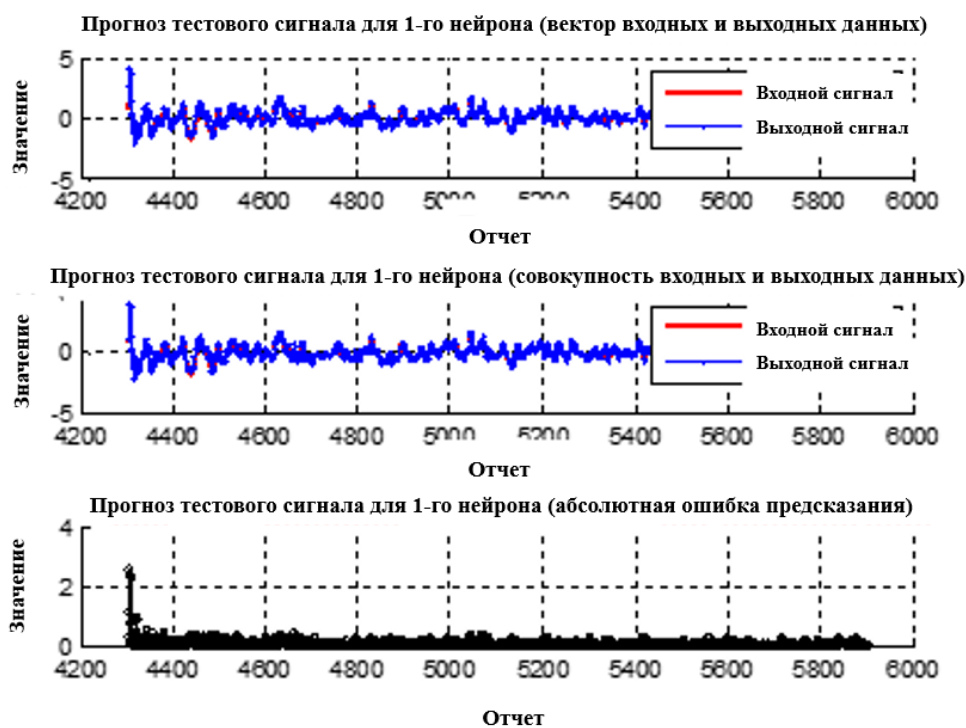


Рисунок 4 – Прогноз тестового сигнала, полученного на выходе первого нейрона

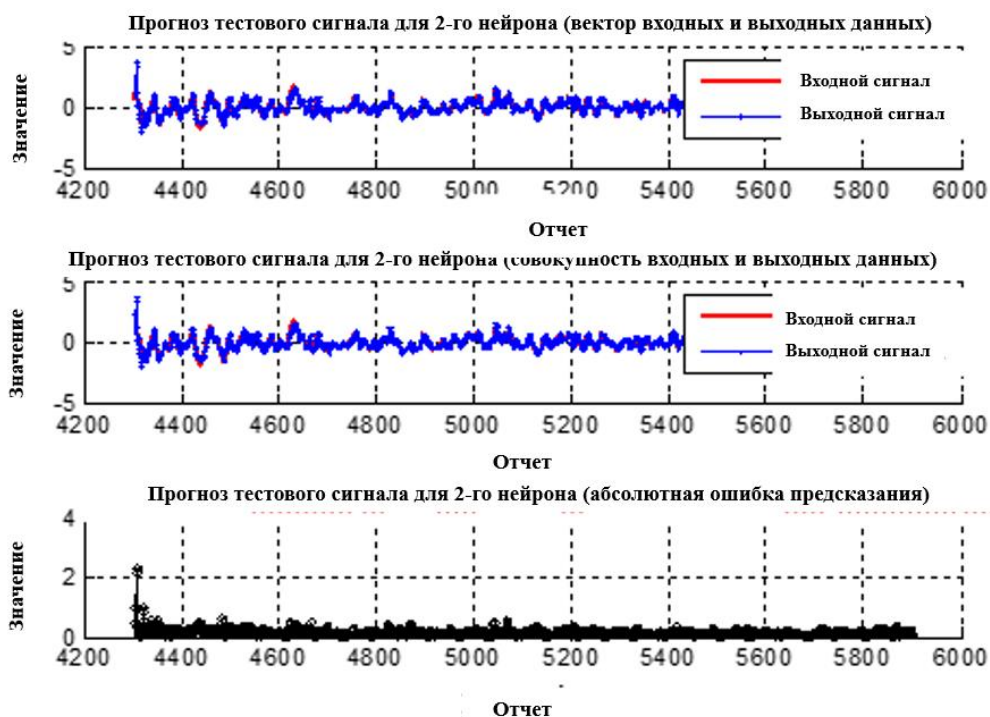


Рисунок 5 – Прогноз тестового сигнала по выходу второго нейрона

Сравнительный анализ моделей и определение наиболее эффективной

В качестве лучшей мы рассматриваем ту модель ИНС, которая показывает наименьшие значения ошибки прогноза и требует минимального времени на обучение. Итоги сравнения сведены в таблицу 1, где номер указывает относительное качество модели. По результатам анализа наиболее

эффективно справилась с задачей фокусированная линейная сеть с задержками на входе, случайным распределением выборок и обучением по алгоритму Левенберга–Марквардта.

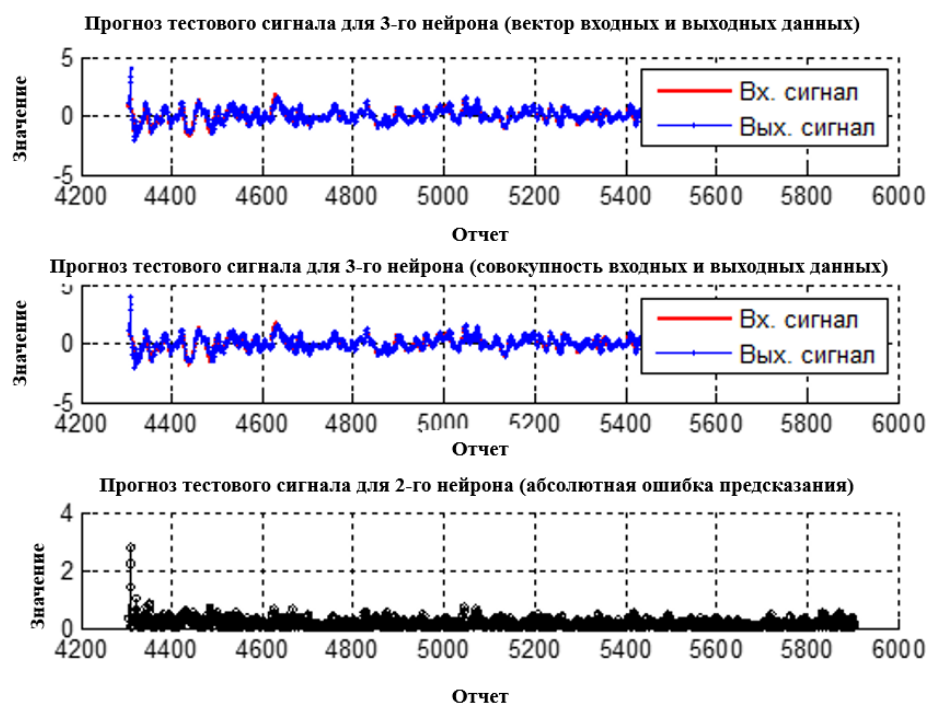


Рисунок 6 – Прогноз тестового сигнала, полученного на выходе третьего нейрона

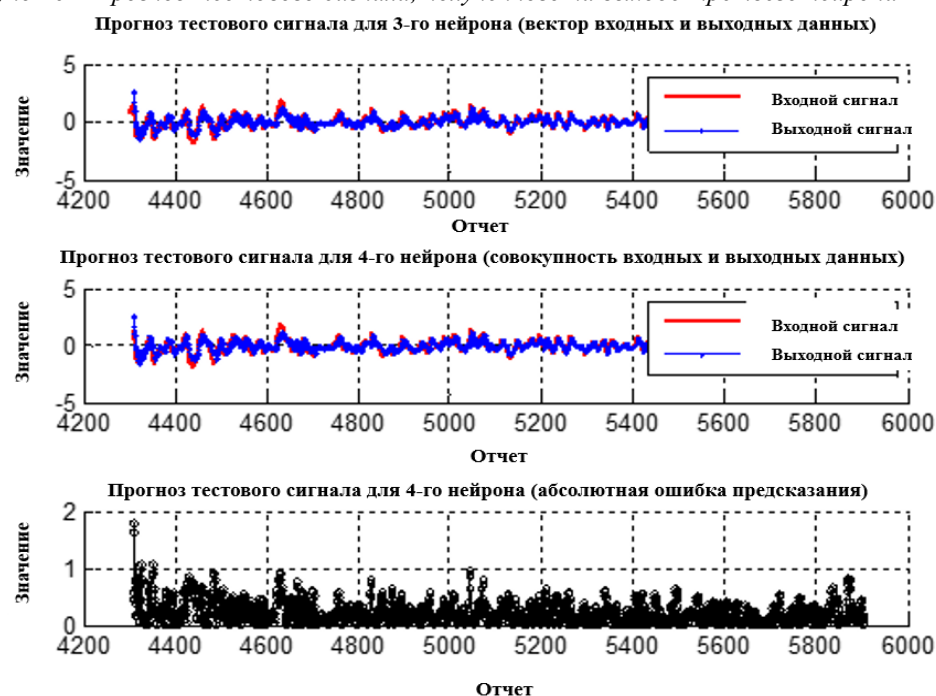


Рисунок 7 – Прогноз тестового сигнала, сформированного выходом четвертого нейрона

Нелинейная авторегрессионная сеть показала приемлемый результат только в режиме многошагового прогноза, однако в целом её работа оказалась нестабильной. Что касается алгоритма БФГШ, то при стандартных параметрах он продемонстрировал низкую эффективность.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа ИНС

№	Тип ИНС	Алгоритм обучения	Распределение выборок
1	ФЛС	ЛМ	Случайное
2	ФЛС	ЛМ	Последовательное
3	ФЛС	БФГШ-ПСВ	Последовательное
4	НАРС	ЛМ	Случайное
5	НАРС	ЛМ	Последовательное
6	АДАЛИН	ДП	Последовательное
7	ФЛС	БФГШ-ПСВ	Случайное
8	НАРС	БФГШ-ПСВ	Случайное
9	НАРС	БФГШ-ПСВ	Последовательное

Исследование качества прогнозирования на основе оптимальной модели ИНС

Верификация прогностических свойств синтезированной модели осуществлялась на примере узкополосного сигнала 4-го типа (визуализация представлена на рис. 8). В рамках численного эксперимента была реализована процедура одношаговой экстраполяции с последующей декомпозицией на расширенный горизонт планирования, охватывающий 20 временных отсчетов.

Для реализации вычислительного процесса была сконфигурирована искусственная нейронная сеть (ИНС) со следующими гиперпараметрами: Параметры используемой ИНС, следующие: число скрытых нейронов - 15, скорость обучения - 0,0005, число элементов задержки - 5.

Подобный выбор структурных параметров обусловлен необходимостью обеспечения баланса между вычислительной мощностью модели и её способностью к генерализации при обработке динамических последовательностей. Использование указанного числа элементов задержки позволяет учитывать авторегрессионные зависимости сигнала без избыточного усложнения графа вычислений.

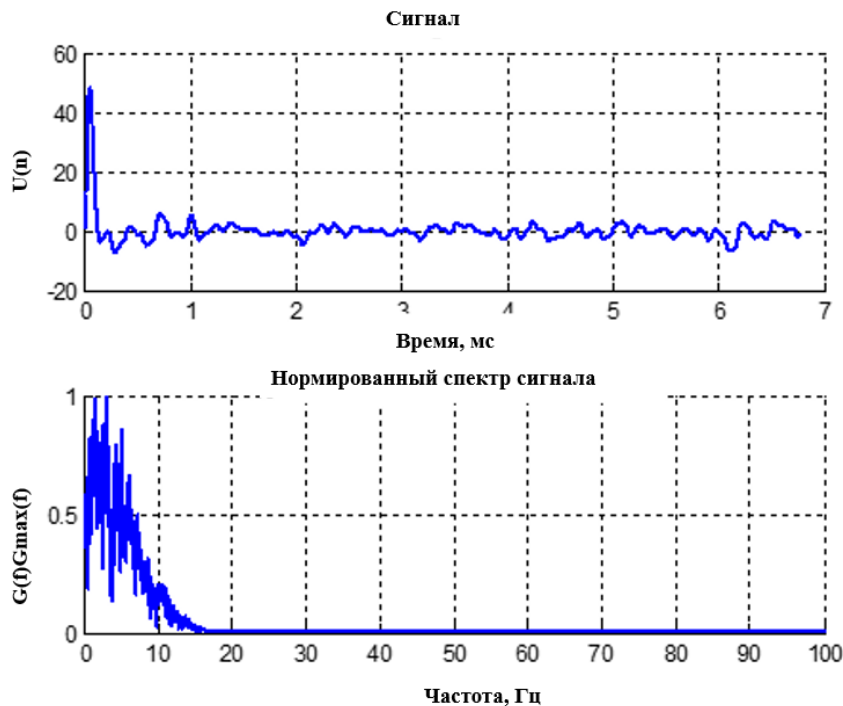


Рисунок 8 – Сигнал 4-го типа и соответствующая спектральная плотность мощности

Использовались параметры алгоритма по умолчанию. Результаты прогноза представлены на рисунке 9.

В таблице 3 приведены результаты обучения и одношагового прогнозирования при числе выходных нейронов, равном 20

Таблице 2 – Результаты обучения и одношагового прогнозирования при числе выходных нейронов

Результаты обучения				
Время обучения (секунд)	Количество итераций	Причина останова	Значение градиента	Значение параметра минимизации
3412.887000	595	Validation stop	1.890482e-04	7.561870e-04
Суммарные ошибки				
CAO	СКО		СПО	
1.602018	4.538997e-01		43.513140	

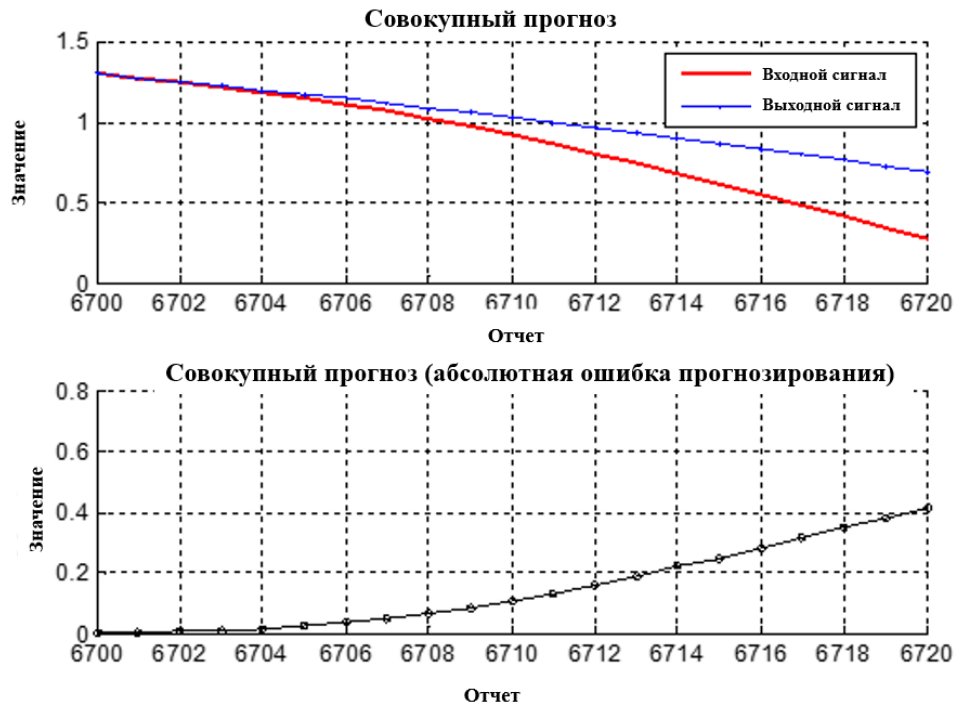


Рисунок 9 – График совокупного прогноза по всем отсчетам при числе выходных нейронов, равном 20

Результаты, представленные на рис. 21, свидетельствуют об инверсной зависимости между горизонтом прогнозирования и точностью аппроксимации. Наблюдаемый нелинейный рост среднеквадратичной ошибки при увеличении числа шагов подтверждает квадратичный характер деградации точности. Данный феномен детерминирован рекурсивной структурой алгоритма: накопление стохастических погрешностей на промежуточных итерациях приводит к их мультипликативному влиянию на последующие значения. Вследствие этого при долгосрочном прогнозировании отмечается существенное расхождение расчетных и фактических данных.

Заключение

В рамках представленного исследования была проанализирована эффективность применения нелинейных авторегрессионных нейронных сетей (NARNN) в качестве инструмента прогнозного моделирования сигнальных характеристик в инфраструктуре сетей 5G. Полученные результаты подтверждают валидность использования архитектур класса NARNN для аппроксимации динамики таких показателей, как RSRP и SINR. Внедрение подобных аналитических моделей в системы управления радиоресурсами позволяет реализовать концепцию предиктивного сетевого менеджмента, способствуя существенной минимизации межканальной интерференции.

Сравнительная оценка различных топологий искусственных нейронных сетей выявила, что в задачах краткосрочной и многошаговой экстраполяции наиболее высокой эффективностью обладает

фокусированная линейная сеть с входными линиями задержки (TLFN), обученная по методу Левенберга–Марквардта с использованием рандомизированной выборки. Было установлено, что стандартные нелинейные авторегрессионные структуры сохраняют операционную стабильность преимущественно в сценариях многошагового анализа, требуя при этом прецизионной калибровки гиперпараметров при увеличении вектора прогнозирования.

Особое внимание уделено зависимости точности модели от глубины прогноза. Экспериментально доказано, что при расширении горизонта планирования (до 20 отсчетов) наблюдается прогрессирующая деградация качества аппроксимации. Данный процесс характеризуется нелинейным (квадратичным) ростом погрешности, что обусловлено кумулятивным эффектом итерационного накопления ошибок на каждом этапе вычислений.

Подводя итог, можно констатировать, что использование аппарата нелинейных авторегрессионных сетей является научно обоснованным и перспективным направлением для интеллектуального анализа сигналов 5G. Практическая значимость исследования заключается в возможности повышения КПД использования радиочастотного ресурса и обеспечении устойчивости соединений в условиях высокой волатильности характеристик радиоканала.

Рецензент: Хасанов Дж.Р. – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и цифровой экономики ИЦПТИИ, МУПТИИ.

Литература

1. Петровых В.В. Исследование влияния структуры нейронной сети на параметры прогноза ограниченного по полосе радиотехнического сигнала // ЮУрГУ. - 2016. - С. 73.
2. Саидов, Б. Б. Разработка модели мультидиэлектрической осевой антенны для передачи и приема информации / Б. Б. Саидов, И. Саъдулло, Д. А. Абдурасулов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 3(67). – С. 42-48. – EDN ZRZMVE.
3. Dmitri M., Eduard S., Vyacheslav B., Andrey S., Yevgeni K., and Konstantin S. A Tutorial on Mathematical Modeling of 5G/6G Millimeter Wave and Terahertz Cellular Systems / M. Dmitri, S. Eduard, B. Vyacheslav, S. Andrey, K. Yevgeni, and S. Konstantin // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – P. 1-46.
4. Saidov, B.B. Opto-ultrasonic communication channels / B.B. Saidov, V.F. Telezhkin. // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics. – 2020. – Vol. 20. – no.4. – pp. 55-62.
5. Telezhkin, V. Recognition and Elimination of Anomalies in Information Leakage Channels in Opto-Ultrasonic Communication Channels in Data Streams of Industrial Automated Systems / V. Telezhkin, B. Saidov, A. Ragozin // Proceedings – 2021 International Russian Automation Conference. – 2021. – P. 201-206.
6. Saidov, B.B. Development of Equipment for Experimental Study of Digital Algorithms in Nonstationary Signal Processing Problems / B.B. Saidov, V.F. Telezhkin, N.N. Gudaev [et al.] // Ural Radio Engineering Journal. – 2022. – Vol. 6. – no. 2. – P. 186-204.
7. Sakib, S. A Deep Learning Method for Predictive Channel Assignment in Beyond 5G Networks. / S. Sakib, T. Tazrin, M.M. Fouda, Z.M. Fadlullah and N. Nasser // in *IEEE Network*, – vol. 35. – no. 1. – pp. 266-272.
8. Arfaoui, A. Context-Aware Adaptive Remote Access for IoT Applications / A. Arfaoui, // *IEEE Internet of Things J.*, vol. 7, no. 1, Jan. 2020, pp. 786–99.
9. Fabio D.L. 5G cascaded channel estimation using convolutional neural networks / D.L. Fabio, S. Hugerles, S.R. Oliveira // *Digital Signal Processing* Vol. - 126. – 2022- P. 103483
10. Ning, L. An efficient combined deep neural network based malware detection framework in 5G environment / L. Ning, L. Dan, Sh. Wenbo, V. Pandi, P. Francesco, C.Victor // *Computer Networks*. Vol. 189. - 2021, P. 107932.
11. Telezhkin, V. Recognition and Elimination of Anomalies in Information Leakage Channels in Opto-Ultrasonic Communication Channels in Data Streams of Industrial Automated Systems / V. Telezhkin, B. Saidov A. Ragozin // Proceedings – 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., – 2021. – P. 201-206.
12. Saidov, B. Simulation of ultrasonic sensor at lower ultrasonic range in data transmission / B. Saidov, V. Telezhkin // Proceedings - 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021. – 2021. – P. 703-707.
13. Saidov, B. Transformation of the Amplitude-Modulated Spectrum of a Signal on a Nonlinear Element / B. Saidov V. Telezhkin // Proceedings – 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020. – 2020. – P. 757-761.

14. Саидов, Б. Б. Методы и результаты экспериментально-теоретического исследования систем связи 5G / Б. Б. Саидов, И. Саъдулло, Н. Б. Хусейнзода // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 23-27. – DOI 10.65599/QFAC8409. – EDN MWRMSY.

15. Саидов, Б. Б. Применение нейросетевых методов прогнозирования радиосигналов в интеллектуальных системах связи 5G / Б. Б. Саидов, И. Саъдулло, Н. Б. Хусейнзода // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 28-38. – DOI 10.65599/BCWW3084. – EDN IGVLAЕ.

16. Косимов, А. А. О распознавании автора текстового фрагмента на основе частотности слогов / А. А. Косимов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 4(56). – С. 59-64. – EDN DUNIFH.

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

TJ	RU	EN
Саидов Бехруз Бадридинович	Саидов Бехруз Бадридинович	Saidov Behruz Badridinovich
н.и.т.	к.т.н	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: matem.1994@mail.ru		
ORCID: 0000-0002-1200-7096		

ДАР БОРАИ УСУЛИ БАҲОДИҲИИ СИФАТИ ТАЪЛИМ ДАР СИСТЕМАИ ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

З.О. Муродзода, Ш.Ё. Холов, Н.И. Юнусов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола усулҳои таҳлили додаҳои калон дар заминаи баҳодиҳии сифати таълим дар мисоли системаи Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон мавриди тадқиқ қарор дода мешаванд. Бо назардошти талаботи заминаи меъёрӣ-ҳуқуқии амалкунанда модели васеъкардаи шудаи математикии баҳодиҳии интегралӣ сифати таълим таҳия гардидааст, ки ба истифодаи регрессияи логистикӣ таъям мекунад. Модели пешниҳодшуда имкон медиҳад маҷмуи нишондиҳандаҳои захиравӣ, равандӣ, натиҷавӣ ва идоракуниро, ки дар сатҳҳои гуногуни системаи маориф ташаккул меёбанд, ба ҳисоб гирад. Алгоритми татбиқи амалии модел пешниҳод шудааст, ки марҳилаҳои ҷамъоварӣ, пешпардозӣ ва коркарди таҳлилии ҳаҷмҳои калони додаҳои маорифро дар бар мегирад. Ҳамчунин, нақшаи сохтори таҳлили мониторинги сифати таълим таҳия гардидааст, ки ба истифодаи усулҳои таҳлили интеллектуалии додаҳои нигаронида шудааст. Нишон дода мешавад, ки равиши пешниҳодшуда ба баланд гардидани асоснокӣ қарорҳои идоракуни мусондат намуда, метавонад ҳамчун асоси методологӣ барои таҳлили системаи автоматизадашудаи иттилоотӣ таҳлилии дастгирии қабули қарорҳо дар соҳаи маориф истифода шавад.

Калидвожаҳо: алгоритм, барнома, таҳлили додаҳо, сифати таълим, баҳодиҳии интегралӣ, модели математикии, стандарти давлатии таълим, мониторинги сифати таълим, регрессияи логистикӣ.

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

З.О. Муродзода, Ш.Ё. Холов, Н.И. Юнусов

В работе исследуются методы анализа больших данных в контексте оценки качества образования на примере системы Министерства образования и науки Республики Таджикистан. С учетом требований действующей нормативно-правовой базы разработана расширенная математическая модель интегральной оценки качества образования, основанная на применении логистической регрессии. Модель позволяет учитывать совокупность ресурсных, процессуальных, результативных и управленческих показателей, формируемых на различных уровнях образовательной системы. Предложен алгоритм практической реализации модели, включающий этапы сбора, предобработки и аналитической обработки больших массивов образовательных данных. Разработана структурная схема организации мониторинга качества образования, ориентированная на использование методов интеллектуального анализа данных. Показано, что предложенный подход обеспечивает повышение обоснованности управленческих решений и может быть использован в качестве методологической основы для создания автоматизированной информационно-аналитической системы поддержки принятия решений в сфере образования.

Ключевые слова: алгоритм, программа, анализ данных, качество образования, интегральная оценка, математическая модель, государственный образовательный стандарт, мониторинг качества образования.

ON ONE APPROACH TO ASSESSING THE QUALITY OF EDUCATION IN THE SYSTEM OF THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Z.O. Murodzoda, Sh.Yo. Kholov, N.I. Unusov

The paper examines big data analysis methods in the context of assessing the quality of education using the system of the Ministry of Education and Science of the Republic of Tajikistan as a case study. Taking into account the requirements of the current regulatory and legal framework, an extended mathematical model for the integrated assessment of education quality based on logistic regression is developed. The proposed model makes it possible to consider a set of resource-based, process-related, outcome-based, and managerial indicators formed at various levels of the educational system. An algorithm for the practical implementation of the model is proposed, including the stages of data collection, preprocessing, and analytical processing of large educational datasets. A structural scheme for organizing education quality monitoring is developed, oriented toward the use of intelligent data analysis methods. It is shown that the proposed approach enhances the validity of managerial decision-making and can serve as a methodological basis for the development of an automated information-analytical decision support system in the field of education.

Keywords: algorithm, program, data analysis, education quality, integrated assessment, mathematical model, state educational standard, education quality monitoring.

Муқаддима

Системаи муносири маориф ҳаҷми хеле бузурги додаҳоро тавлид менамояд, аз ҷумла натиҷаҳои санҷишҳои таълимӣ, нишондиҳандаҳои ҳозиршавӣ ва ғайриини, инчунин изҳои рақамии омӯзгорон ва падару модарон дар платформаҳои электронии таълимӣ [1]. Дар тадқиқоти муаллиф [2] қайд мегардад, ки усулҳои анъанавии таълим дар як қатор муассисаҳои таълимӣ ва низомии омӯзиши

корпоративӣ бо шаклҳои таълими рақамӣ иваз шудаанд. Дар айни замон маҷмуи васеи афзорҳо ва воситаҳои таълими рақамӣ мавҷуданд. Бо вучуди ин, барои ворид шудан ба ин марҳилаи нави рушди маориф, зарур аст, ки ҳам донишҷӯён ва ҳам омӯзгорон сатҳи зарурии саводнокии рақамиро соҳиб бошанд.

Аксари интишороти илмӣ (тақрибан 88%) аз усулҳои омӯзиши мошинии назоратшаванда барои пешбинии сатҳи муваффақияти таҳсили хонандагон ва ошкор намудани қолабҳои омӯзиш истифода бурдаанд. Ба ин усулҳо дарахтони қарор, мошинҳои векторҳои тақягоҳӣ, ҷангалҳои тасодуфӣ ва регрессияи логистикӣ шомил мебошанд. Усулҳои омӯзиши нимназоратшаванда камтар истифода шудаанд, вале онҳо низ натиҷаҳои умедбахшро дар пешпешбинии муваффақияти таҳсили хонандагон нишон додаанд [3]. Дар тадқиқоти [4] баррасии усулҳои гуногуни таҳлили интеллектуалии додаҳо дар асоси таҳлили қорҳои гуногуни илмӣ пешниҳод гардидааст. Таҳлили додаҳои таълимӣ бо мақсади баланд бардоштани сатҳи муваффақияти таҳсилии хонандагон истифода мешавад. Таҳлили пешгӯишаванда метавонад ба беҳтар гардидани сифати таълим мусоидат намояд, зеро он ба шахсони маъсули қабули қарор иттилооти заруриро барои қабули қарорҳои беҳтар асоснок пешниҳод мекунад. Усулҳои таснифсозӣ дар соҳаи таҳлили интеллектуалии додаҳо, аз ҷумла дарахтони қарор, барои пешбинии муваффақияти академии хонандагон ба таври васеъ истифода мегарданд.

Коркарди чунин додаҳо дар низоми маорифи Ҷумҳурии Тоҷикистон имкон медиҳад маъсалаи баҳодиҳии сифати таълим ҳал гардида, сатҳи он баланд бардошта шавад. Мутобиқи Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон «Дар бораи маориф» [5] ва Стратегияи миллии баҳодиҳии сифати таълим дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2044, Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон (ВМвай ҶТ) бо салоҳиятҳои ташаққул, ҳамоҳангсозӣ ва татбиқи сиёсати давлатии таъмини сифати таълим ваколатдор гардидааст. Стандартҳои давлатии таълими умумӣ, таҳсилоти миёнаи касбӣ ва таҳсилоти олии касбӣ талаботи меъёриро нисбат ба натиҷаҳои таълим, сохтор ва шароити татбиқи барномаҳои таълимӣ муайян менамоянд, ки ин зарурати таҳияи усулҳои формализатсияшудаи миқдории баҳодиҳии дараҷаи иҷрои онҳоро ба миён меорад.

Дар шароити муносири рақамикунонӣ таҳия намудани моделҳои математикӣ ва алгоритмҳои баҳодиҳии интегралӣ сифати таълим аҳамияти махсус пайдо мекунад, зеро онҳо имконият медиҳанд нишондиҳандаҳои гуногунро, ки дар натиҷаи расмиёти дохилӣ ва хориҷии назорат, имтиҳонҳои миллӣ, мониторингҳо, инчунин тадқиқоти муқоисавии байналмилалӣ ба даст меоянд, дар шакли ягона муттаҳид ва ҷамъбаст намоянд. Ҳадафи мақолаи мазкур асоснок намудани модели васеъшудаи математикӣ барои баҳодиҳии сифати таълим ва нишон додани имконияти ворид намудани он ба низоми амалкунандаи меъёрӣ-ҳуқуқии Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон мебошад.

Дар адабиёти илмӣ сифати таълим ҳамчун категорияи бисёрченака баррасӣ мегардад, ки хусусиятҳои захираҳо, равандҳо ва натиҷаҳои фаъолияти таълимиро дар бар мегирад. Равиши системавӣ нисбат ба сифати таълим баррасии онро дар шакли сохтори иерархии нишондиҳандаҳо пешбинӣ менамояд, ки дар расми 1 оварда шудааст.

Усули моделсозии математикӣ барои баҳодиҳии интегралӣ сифати таълим

Системаи иерархии нишондиҳандаҳоро баррасӣ менамоям, ки дар он ҳар як объекти таълимӣ (муассиса, ноҳия, минтақа, система дар умум) бо маҷмуи нишондиҳандаҳои хусусии q_{ijk} , ки ба гурӯҳҳо муттаҳид шудаанд, тавсиф мегардад. Индекси хусусии зеркомпоненти сифати таълим ҳамчун функсияи вазнгузоришудаи нишондиҳандаҳои нормализатсияшуда муайян карда мешавад:

$$Q_{ij} = \sum_{k=1}^K a_{ijk} q_{ijk}^*, \sum_{k=1}^K a_{ijk} = 1, a_{ijk} \geq 0, \quad (1)$$

ки дар ин ҷо a_{ijk} — вазнҳои нишондиҳандаҳо дар дохили зеркомпонент мебошанд, ки аз ҷониби коршиносон ё мувофиқи меъёрҳои амалкунанда муайян карда мешаванд; i — компоненти сифати таълим (захираҳо, равандҳо, натиҷаҳо); j — зеркомпонент (қадрҳо, усулҳо ва технологияҳои таълим, донишҳои академӣ ва ғайра); k — нишондиҳандаи мушаххаси миқдорӣ дар доираи зеркомпонент.



Расми 1 – Модели иерархии нишондиҳандаи сифати таълим дар системаи Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар сатҳи поёнӣ, ҳамаи нишондиҳандаҳои ибтидоии q_{ijk} ба миқёси беандоза (бе воҳиди ченкунӣ) дар доираи $[0;1]$ нормализатсия карда мешаванд. Барои нормализатсияи хаттӣ ифодаи зерин истифода шудана мумкин аст:

$$q_{ijk}^* = \frac{q_{ijk} - q_{ijk}^{\min}}{q_{ijk}^{\max} - q_{ijk}^{\min}}, \quad (2)$$

ки дар ин ҷо $q_{ijk}^{\min}$ ва $q_{ijk}^{\max}$ – арзишҳои ҳади аққал ва ҳади аксари мувофиқи нишондиҳанда, ки ба таври меъёрӣ ё эмпирикӣ муайян карда шудаанд. Сипас, компонентҳои сифати таълим тибқи ҳамин принцип ташаккул дода мешаванд:

$$Q_i = \sum_{j=1}^I b_{ij} Q_{ij}, \quad \sum_{j=1}^I b_{ij} = 1, \quad b_{ij} \geq 0, \quad (3)$$

ки дар ин ҷо b_{ij} – вазнҳое, ки нишондиҳандаҳои хусусии сифати таълимро дар доираи компонент муайян менамоянд, Q_1 – компоненти захиравӣ, Q_2 – компоненти равандӣ, Q_3 – компоненти натиҷавӣ. Индекси интегралӣ сифати таълими объекти мавриди баррасӣ чунин муайян карда мешавад:

$$Q = w_1 Q_1 + w_2 Q_2 + w_3 Q_3, \quad \sum_{i=1}^I w_i Q_i = 1, \quad (4)$$

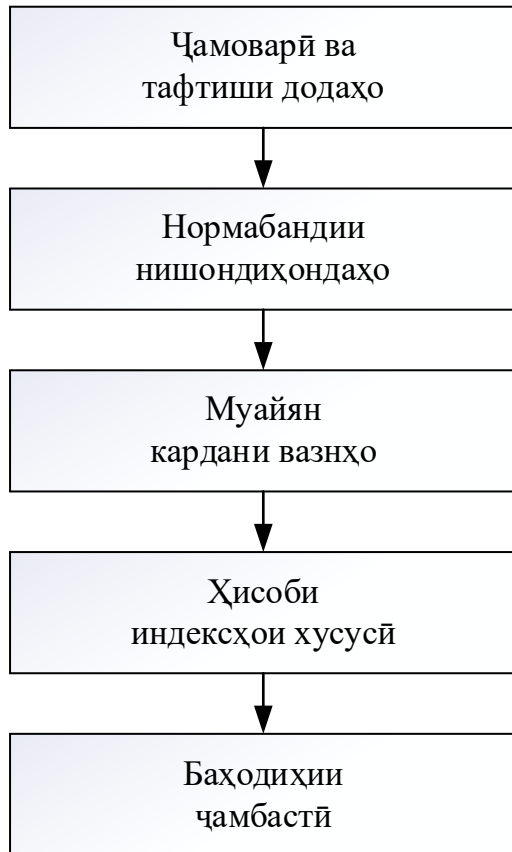
ки дар ин ҷо w_1 – вазнҳои компонентҳои асосии сифати таълим, ки аввалиятҳои сиёсати давлатии соҳаи маориф ва ҳадафҳои стратегияи дар санадҳои меъёрии Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон сабтшударо инъикос менамоянд.

Бо назардошти барномаҳо ва стратегияҳои давлатии амалишаванда дар соҳаи маориф дар Ҷумҳурии Тоҷикистон [6], таҳлили динамикаи сифати таълим дар тӯли вақт аҳамияти хос пайдо мекунад. Бигзор, $Q(t)$ — арзиши индекси интегралӣ сифати таълим дар лаҳзаи вақти t (масалан, аз рӯи натиҷаҳои соли таҳсил) бошад. Дар ин ҳолат, раванди динамики метавонад тавассути муодилаи тафриқӣ тавсиф карда шавад:

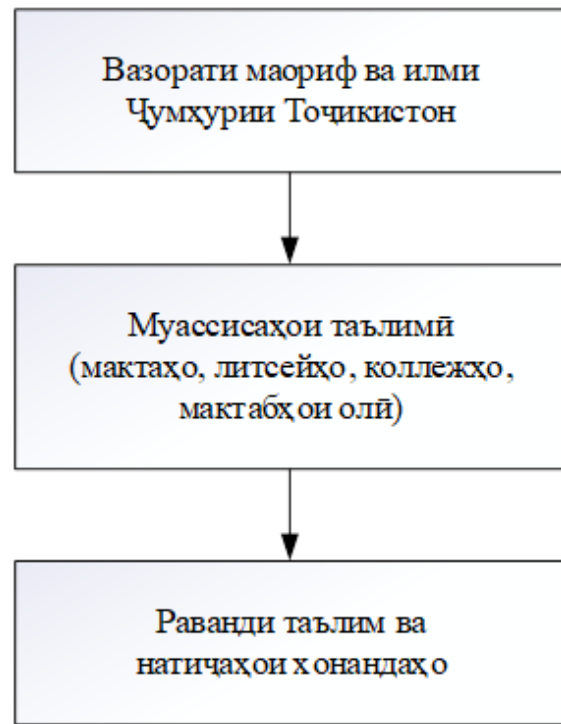
$$Q(t) = Q(t-1) + \Delta Q(t), \quad (5)$$

ки дар ин ҷо $\Delta Q(t)$ — афзоиши (тағйирёбии) сифати таълим дар давраи $(t-1;t)$, ки бо тағйирот дар захираҳо, равандҳо ва натиҷаҳо вобаста мебошад.

Дар сурати мавҷуд будани маҷмуи кофӣ маълумот, имконият пайдо мешавад, ки тамоюлҳо ва қиматҳои пешбинишавандаи сифати таҳсилот бо истифода аз усулҳои таҳлили регрессионӣ, ҳамворсозии қаторҳои замонӣ, инчунин афзорҳои омӯзиши мошинӣ баҳодиҳӣ карда шаванд [6]. Татбиқи амалии модели пешниҳодшуда дар фаъолияти Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон ва ташкилоти таҳсилоти тобеи он иҷрои марҳилаҳои муайянро (расми 2) дар назар дорад.



Расми 2 – Алгоритми баҳодиҳии интегралӣ сифати таълим



Расми 3 - Нақшаи сохтории мониторинги сифати таълим

Ташкили мониторинги сифати таҳсилот дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳамкориҳои дастгоҳи марказии Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон, мақомоти минтақавӣ ва ноҳиявӣ идоракунии соҳаи маориф, инчунин ташкилоти таҳсилоти сатҳҳои гуногунро дар назар дорад. Дар поён схемаи сохтории содакардашудаи системаи мониторинги сифати таҳсилот (расми 3) пешниҳод мегардад.

Бо истифода аз усулҳои регрессионӣ ва пешгӯӣ, муайян кардан мумкин аст, ки оё натиҷаи дилхоҳро тавассути тағйир додани арзишҳои параметри интихобшуда ба даст овардан мумкин аст. Қарори идоракунии дар ин ҳолат пешбиниҳои натиҷаҳои имтиҳонҳои ниҳойӣ, сатҳи салоҳияти хатмкунандагон, талабот дар бозори меҳнат ва музди меҳнати пас аз шуғл мебошад [7].

Натиҷаҳо ва муҳокима

Аз тарафи муаллифони таъминоти барномавии Clary data бо истифода аз забони барномасозии Python ва библиотекаҳои он: Streamlit, Scikit-Learn, Pandas, SciPy / Statsmodels, NumPy таҳия шудааст, ки яке аз усулҳои омӯзиши мошинӣ — регрессияи логистикиро истифода мебарад. Интерфейси умумии таъминоти барномавии **Clary data** дар расми 4 оварда шудааст.

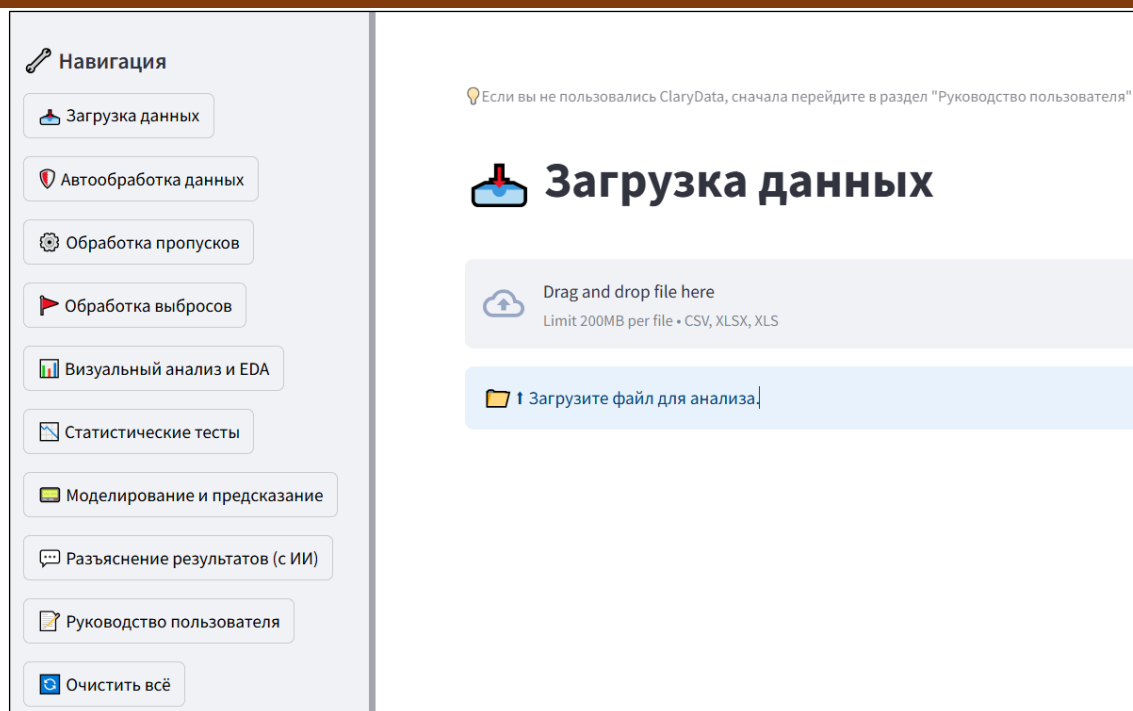


Рис. 4 – Интерфеси таъминоти барномавии Clary data.

Баҳодиҳии сифати таълими муассисаҳои таҳсилоти миёнаи умумии шаҳри Душанбе барои соли таҳсилоти 2024 – 2025 дар ин барнома анҷом дода шудааст. Баҳодиҳӣ ба сифати таълим дар асоси додаҳои калони муассисаҳои таълимии шаҳри Душанбе гузаронида мешавад, ки онҳо аз ҷониби Муассисаи давлатии «Маркази таҳлилий-иттилоотӣ»-и назди Сарраёсати маорифи шаҳри Душанбе пешниҳод шудаанд.

Дар марҳилаи «**Загрузка данных** (боркунии додаҳо)» ворид намудани маҷмуи ибтидоии додаҳо дар форматҳои CSV ё Excel зарур мебошад. Пас аз анҷоми муваффақонаи боркунӣ паёми огоҳӣ бо мазмун «**Данные успешно загружены** (Додаҳо бомуваффақият бор карда шуд)» пайдо мегардад, ки дурустии воридотро тасдиқ менамояд.

Маҷмуи додаҳо(датасет) аз 1640 сатр иборат буда, ҳар як сатр як муассисаи алоҳидаи таҳсилотиро ифода мекунад. Дар маҷмӯъ 16 сутун мавҷуд аст, аз ҷумла:

- баҳои миёна аз фанҳои таълимӣ;
- миқдор ва ҳиссаи соатҳои факултативӣ;
- ҳиссаи омӯзгорон маълумоти олии пурра ва нопурра дошта;
- дигар хусусиятҳои муҳими зарурӣ барои таҳлили сифати таҳсилот.

Барнома имкониятҳои зеринро фароҳам меорад:

- намоиши 5 сатри аввали додаҳо бо мақсади баҳодиҳии таркиби онҳо;
- омӯзиши омори тавсифӣ, аз ҷумла қиматҳои миёна, квантилҳо, инҳирофи стандартӣ ва нишондиҳандаҳои дигар;
- ба даст овардани иттилооти ибтидоӣ: шумораи сатрҳо ва сутунҳо, мавҷудияти ҷойҳои холӣ; такроршавӣ, инчунин тақсими нишондиҳандаҳо аз рӯи навъ (рақамӣ/категориалӣ);
- инчунин имкони пайваست намудани зехни сунъӣ дастрас мебошад, ки ба сохтори додаҳо дастрас мешавад ва метавонад ба саволҳои ҷавоб дода, ба раванди таҳлил кӯмак расонад ва роҳи мувофиқи ҳалли масъала пешниҳод намояд.

Фасли «**Автообработка данных** (коркарди автоматии додаҳо)»-и барнома имкон медиҳад, ки маълумот бидуни дахлати дастӣ ва ба таври зуд ба таҳлил омода карда шавад. Пас аз паҳш намудани тугмаи «**Автообработка данных** (коркарди автоматии додаҳо)» алгоритми умумии тозакунии додаҳо фаъол мегардад, ки ошкорсозӣ ва бартараф намудани қиматҳои дохилнашударо дар бар

мегирад — ё тавассути азбайнгирӣ, ё пуркунӣ мутобиқи қоидаҳои стандартӣ. Ҳамзамон ошкор ва коркарди қиматҳои ғайримеъёрӣ (выбросҳо) анҷом дода мешавад, ки вобаста ба сохтори додаҳо бо истифода аз усулҳои IQR ё Z-score амалӣ мегардад. Дар натиҷаи кори барнома маҷмуи додаҳои тозашуда пешниҳод мегардад, ки барои визуализатсия, моделсозӣ ва таҳлили минбаъда омода мебошад. Ин махсусан дар марҳилаҳои ибтидоӣ муфид аст, зеро имкон медиҳад ғалоғулаҳои нолозим зуд бартараф гардида, додаҳо ба ҳолати корӣ оварда шаванд.

Фасли «**Обнаружение и устранение** (Ошкорсозӣ ва бартарафсозӣ)» барои кор бо қиматҳои додаҳои ҳолӣ (NaN) дар маҷмуи додаҳо пешбинӣ гардидааст. Мавҷудияти чунин ҳолигиҳо метавонад ба дурустии таҳлил ҳалал расонад, хусусан ҳангоми сохтани моделҳо ё анҷом додани визуализатсия. Дар доираи ин бахш барнома муайян намудани тағйирёбандаи мақсаднок пешбинӣ менамояд, то қиматҳои ҳолии додаҳо (NaN) дар он пеш аз ҳама ҳазф карда шаванд. Ҳамчунин имкони гузариш ба тозакунии дастӣ мавҷуд аст, агар коркарди дақиқ бо сутунҳои мушаххас зарур бошад. Илова бар ин, барнома имкон медиҳад мавҷудияти қиматҳои ҳолии додаҳо зуд санҷида шавад — дар мисоли мазкур онҳо мавҷуд нестанд, ки бо ҳолати «**Нет пропусков в данных** (дар рӯйхат қиматҳои ҳолии додаҳо мавҷуд нестанд)» тасдиқ мегардад.

Қиматҳои ғайримеъёрӣ (выбросҳо) он бузургиро мебошанд, ки аз дигарон ба таври шадид фарқ мекунанд ва метавонанд натиҷаҳои таҳлиро таҳриф намоянд. Ин фасл афзорҳои майлон (афзорҳои қобили мутобиқшавӣ)-и самарабахшро барои ошкорсозӣ ва бартараф намудани онҳо, инчунин барои анҷом додани таҳлили қиматҳои ғайримеъёрӣ фароҳам меорад.

Истифодабаранда метавонад бо роҳи баҳодиҳии визуалии тақсимои додаҳо ва аномалияҳои эҳтимоли вазъиятро таҳлил намояд, тозакунии автоматии қиматҳои ғайримеъёриро бо истифода аз қоидаҳои дарунсохт (масалан, IQR ё Z-score) ба роҳ монанд, то арзишҳои шадид зуд бартараф гарданд. Ҳамчунин, имкони гузариш ба тозакунии дастӣ мавҷуд аст, агар танзими дақиқ лозим бошад — масалан, хориҷ намудани қиматҳои ғайримеъёрӣ танҳо дар сутунҳои муайян ё тибқи меъёрҳои инфиродӣ.

Фасли «Визуальный анализ (таҳлили визуалӣ)» имкон медиҳад додаҳо бо истифода аз графикҳо, таҳлили коррелятсионӣ ва ҷадвалҳои ҷамъбасти омӯхта шаванд. Он ба ошкор намудани қонуниятҳо, муқоисаи тағйирёбандаҳо ва омода сохтани замина барои моделсозӣ мусоидат менамояд.

Татбиқи тадқиқот интихоби тағйирёбандаҳо барои тирҳои X ва Y, инчунин муайян намудани навъи график (хаттӣ, сутунӣ, давравӣ ва ғайра)-ро дар бар мегирад. Инчунин дар система механизми дастгирии зеҳни сунъӣ пешбинӣ гардидааст, ки дар асоси таҳлили сохтор ва хусусиятҳои додаҳо тавсияҳои асоснок пешниҳод менамояд, аз ҷумла оид ба интихоби оптималии тағйирёбандаҳо барои муқоиса ва таҳлили минбаъда.

Зерфасли «Корреляционный анализ (таҳлили коррелятсионӣ)»-и барнома имкон медиҳад, ки ҳамбастагии байни аломатҳо (нишондиҳандаҳо) бо истифода аз матритсаи коррелятсияҳо тадқиқ карда шаванд. Ин равиш хусусан барои ошкор намудани вобастагиҳои пинҳонӣ, ҳодисаи мултиколлинеарӣ ва муайян кардани омилҳои эҳтимолии таъсиррасон аҳамияти муҳим дорад.

Дар расми 5 матритсаи коррелятсионӣ байни фанҳои таълимӣ — забони англисӣ, забони русӣ, математика, химия, биология ва физика, инчунин нишондиҳандаҳои ҳайати омӯзгорӣ — ҳиссаи омӯзгорони маълумоти олии пуррадошта, нопурраи олидошта, занон-омӯзгорон ва шахсони ғайриомӯзгор, ҳамчунин метрикаҳои маъмури — соатҳои ҳолӣ (ваканти) ва ҳиссаи онҳо нишон дода шудааст. Миқёси ранг аз кабуд (коррелятсияи манфӣ) то сурх (коррелятсияи мусбат) имкон медиҳад ба таври фаврӣ баҳодиҳӣ карда шавад, ки кадом фанҳо байни ҳам робита доранд, чӣ гуна сифати ҳайати омӯзгорӣ ба сатҳи азхудкунии хонандагон таъсир мерасонад ва дар кадом ҳолатҳо вобастагиҳои ғайриҷашмдошт эҳтимол доранд.

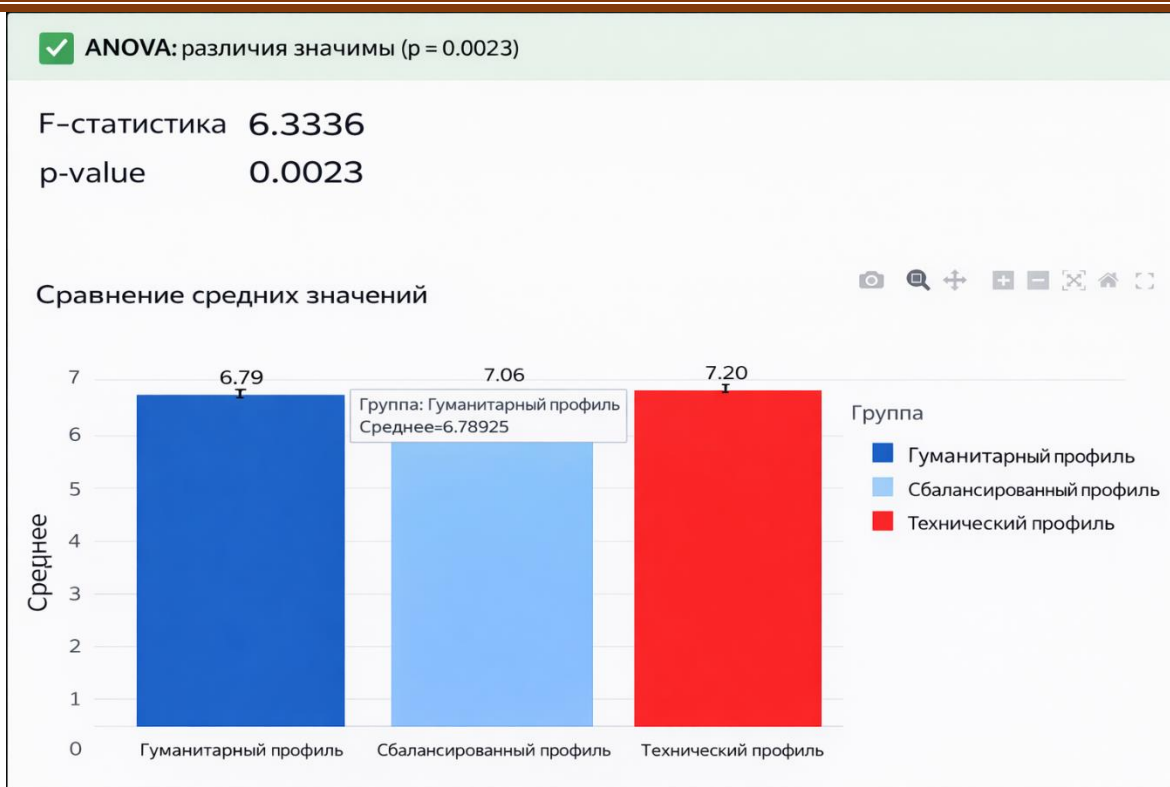
Английский язык	1	0.68	-0.08	-0.48	-0.54	-0.7	-0.61	-0.63	-0.05	0.44	-0.36	-0.37
Русский язык	0.68	1	-0.09	-0.45	-0.49	-0.72	-0.63	-0.65	-0.1	0.48	-0.22	-0.39
Математика	-0.08	-0.09	1	0.37	0.27	0.2	0.23	0.13	0.4	-0.21	0.11	0.33
Химия	-0.48	-0.45	0.37	1	0.61	0.54	0.41	0.3	0.19	-0.44	0.27	0.3
Биология	-0.54	-0.49	0.27	0.61	1	0.54	0.46	0.41	0.11	-0.37	0.26	0.29
Физика	-0.7	-0.72	0.2	0.54	0.54	1	0.69	0.69	0.21	-0.51	0.26	0.39
Вакантные часы (школы)	-0.61	-0.63	0.23	0.41	0.46	0.69	1	0.97	0.28	-0.52	0.32	0.51
Доля вакантных часов	-0.63	-0.65	0.13	0.3	0.41	0.69	0.97	1	0.2	-0.46	0.31	0.49
Доля учителей с высшим образованием	-0.05	-0.1	0.4	0.19	0.11	0.21	0.28	0.2	1	-0.34	0.12	0.2
Доля учителей с неполным высшим	0.44	0.48	-0.21	-0.44	-0.37	-0.51	-0.52	-0.46	-0.34	1	-0.25	-0.45
Доля женщин-учителей	-0.36	-0.22	0.11	0.27	0.26	0.26	0.32	0.31	0.12	-0.25	1	0.19
Доля непедагогов	-0.37	-0.39	0.33	0.3	0.29	0.39	0.51	0.49	0.2	-0.45	0.19	1
	Английский язык	Русский язык	Математика	Химия	Биология	Физика	Вакантные часы (школы)	Доля вакантных часов	Доля учителей с высшим образованием	Доля учителей с неполным высшим	Доля женщин-учителей	Доля непедагогов

Расми 5 – Матритсаи коррелясионӣ байни фанҳои омӯзишӣ

Чунин таҳлил имкон медиҳад, ки хусусиятҳои шароити омӯзиши забонҳоро ошкор намояд ва ҳамчун пояи интиҳоб намудани аломатҳо барои моделсозӣ, анҷом додани таҳлили амиқи муҳити таълимӣ, инчунин муҳокима бо зеҳни сунъӣ оид ба сабабҳо ва паёмадҳои робитаҳои ошкоршуда хизмат мекунад.

Фасли барнома «Статистические тесты (санҷишҳои омӯрӣ)» барои санҷидани гипотезаҳо ва муайян намудани фарқиятҳои аз ҷиҳати омӯрӣ аҳамиятнок байни гурӯҳҳо пешбинӣ гардидааст (Расми 6). Дар он санҷишҳои маъмул ва васеъистифодашаванда дастгирӣ мешаванд: t-test — муқоисаи ду гурӯҳ, ANOVA — муқоисаи се ва зиёда гурӯҳ, Chi-square (χ^2) — таҳлили вобастагӣҳои категориявӣ.

Дар ин ҷо имконият мавҷуд аст, ки санҷиши зарурӣ интиҳоб карда шавад, метрикаи рақамӣ (масалан, баҳои миёна аз фанни химия) муайян гардад, инчунин аломати категориявӣ бо гурӯҳҳо (масалан, самти муассисаи таълимӣ: гуманитарӣ, техникӣ, мувозинатшуда) муайян карда шавад. Мисоли коркарди маълумоти омӯрӣ вобаста ба фанни химия ва самти муассисаҳои таълимии шаҳри Душанбе баррасӣ мешавад.



Расми 6 – Натиҷаи коркарди додаҳои омори аз руи фанни химия ва самти муассисаи таҳсилоти шаҳри Душанбе

Натиҷаҳои бадастомадаи санҷиш чунинанд: $p\text{-value} = 0.0023$, ки далели мавҷуд будани фарқиятҳои аз ҷиҳати омори аҳамиятнок байни гурӯҳҳо мебошад; омори $F = 6.3336$, ки сатҳи баланди тафовутҳоро инъикос мекунад. Аз график бармеояд, ки муассисаҳои таҳсилоти самти гуманитарӣ баҳои миёна ≈ 6.79 , самти мувозинатшуда баҳои миёна ≈ 7.05 ва самти техникӣ баҳои миёна ≈ 7.20 доранд.

Рамзгузори рангӣ ва сутунҳои хатой (error bars) имкон медиҳанд фарқиятҳо ва интервалҳои эътимод ба таври визуалӣ баҳодиҳӣ карда шаванд. Ин ҳолат заминаи боэътимодро барои тафсири натиҷаҳо ва муҳокимаи сабабҳои фарқиятҳо бо зехни сунъӣ фароҳам меорад.

Фасли барнома «Моделирование и предсказание (моделсозӣ ва пешгӯӣ)» (регрессияи логистикӣ) имкон медиҳад, ки модели таснифи дӯй сохта шавад, то тағйирёбандаи мақсаднок дар асоси аломатҳои маҷмӯи додаҳо пешгӯӣ гардад (расми 7). Ҳадафи асосӣ дар фаҳмидани он ифода меёбад, ки аломатҳо чӣ гуна ва бо кадом сабаб ба натиҷа таъсир мерасонанд, инчунин дар ба даст овардани пешгӯиҳои тафсиршаванда.

Барои кор бо барнома зарур аст, ки тағйирёбандаи мақсаднок, масалан, кадрowo-устойчивая (устувории кадрӣ) интихоб карда шуда, параметрҳои модел танзим гарданд, сипас параметрҳои асосии барнома бояд муайян карда шаванд:

- Регуляризатсия (навъ ва коэффитсиентҳо);
- Шумораи итератсия (такрорҳисоб);
- Дараҷаи таснифот;
- Шумораи додаҳои санҷишӣ;
- Мувозини синфҳо.
- Танзими навъ ва параметр (тип и параметр регуляризации);
- Шумораи итератсияҳо (макс. итерация);
- Ҳадди тасниф (порог классификации);
- Андозаи интихобии санҷишӣ (размер тестовой выборки)
- Мувозинаткунонии синфҳо (сбалансировать веса классов).

Моделирование и предсказание

† Фокус: понять, как и почему признаки влияют на целевую переменную

Целевая переменная (binary target)

кадрово_устойчивая

Настройки модели

Параметр регуляризации C: 1,00

Тип регуляризации: L2

Макс. итераций: 1000

Порог классификации: 0.50

Размер тестовой выборки (%): 20

☐ Сбалансировать веса классов

Обучить / переобучить модель

Расми 7 – Қабули қарор дар асоси модели таҳияшуда

Пас аз пахш намудани тугмаи «Обучить модель (омӯзонидани модел)» раванди омӯзиши регрессии логистикӣ оғоз мегардад. Баъдан натиҷаҳои зерин пайдо мешаванд (расми 8).



Расми 8 – Натиҷаи омӯзиши модели регрессионӣ

Зерфасли «Важность признаков (муҳиммияти аломатҳо)» таъсири ҳар як аломатро дар шакли график бо коэффитсиентҳо инъикос менамояд, ки дар он таъсири мусбат (масалан, ҳиссаи омӯзгорон

бо маълумоти олии пурра) ва таъсири манфӣ (масалан, идентификатори мактаб, ҳиссаи соатҳои вакантӣ) нишон дода мешаванд.

Зерфасли «Метрики и кривые (метрикаҳо ва бурришҳо)» сифати моделро тавассути маҷмӯи нишондиҳандаҳои инъикос мекунад, аз ҷумла дақиқӣ, пуррагӣ, баҳодиҳии F1, бурриши ROC ва PR.

Пас омӯзиши модел пешгӯии тағйирёбандаҳои ҳадафиро дар расми 9 дидан мумкин аст. Дар расм интерфейси модули пешгӯӣ барои як объекти алоҳида нишон дода шудааст. Дар қисми боло майдонҳо бо хусусиятҳои объекти нав — муассисаи таҳсилотӣ (мактаб) инъикос ёфтаанд, аз ҷумла баҳои миёна аз фанҳо (масалан, «Математика: 6.91», «Химия: 7.08») ва нишондиҳандаҳои кадрӣ («Ҳиссаи омӯзгорон бо маълумоти олии нопурра: 0.85», «Ҳиссаи занон-омӯзгорон: 0.78»). Ин аломатҳо ба ҳамон хусусиятҳои мувофиқат мекунанд, ки модел ҳангоми омӯзиш истифода намудааст. Пас аз ворид намудани ин маълумот, модел, ки дар асоси мисолҳои таърихӣ омӯзонида шудааст, барои объекти мазкур пешгӯии таснифотӣ ташаккул медиҳад. Натиҷа саҳми ҳар як аломатро дар қабули қарори ниҳой ба инобат мегирад, ки имкон медиҳад муайян карда шавад қадом хусусиятҳо таъсири бештар расондаанд. Дар қисми поён тугмаҳои содирот (экспорт) дастрас мебошанд: мумкин аст ҳуди модел дар формати (.pkl), ҷадвали аҳаммияти аломатҳо (CSV), метрикаҳои сифати модел (CSV) ва ҳисоботи пурра (MD) нигоҳ дошта шаванд.

Прогноз для одного объекта		
Английский язык	Русский язык	Математика
6,81 - +	6,77 - +	6,91 - +
Химия	Биология	Физика
7,08 - +	6,98 - +	7,02 - +
Вакантные часы (школы)	Доля вакантных часов	Доля учителей с высшим образованием
5,00 - +	0,06 - +	0,85 - +
Доля учителей с неполным	Доля женщин-учителей	Доля женщин-учителей
0,09 - +	0,78 - +	0,01 - +
ID школы	Район	Профиль школы
Исмоили Сомони_1	Исмоили Сомони	Гуманитарный профиль
<button>Сделать прогноз</button>		
Экспорт Скачать модель (.pkl) Скачать важности (CSV) Скачать метрики (CSV) Скачать отчёт (MD)		

Расми 9 – Пешгӯии тағйирёбандаҳои ҳадафӣ

Хулоса

Дар мақола модели васеъшудаи математикӣ оид ба баҳодиҳии сифати таҳсилот дар системаи Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон асоснок карда шудааст. Модел ба сохтори иерархии нишондиҳандаҳо тақия намуда, ҷамъбасти марҳилавии нишондиҳандаҳои нормализатсияшударо дар ҷузъҳои захиравӣ, равандӣ ва натиҷавӣ сифати таҳсилот пешбинӣ менамояд.

Унсурҳои ба инобат гирифтани динамикаи замони ва истифодаи баҳодиҳии ноаниқ (фаззӣ) пешниҳод гардидаанд, ки мутобиқшавии моделро ба шароити воқеии фаъолияти системаи таҳсилот баланд мебардоранд. Нишон дода шудааст, ки модели пешниҳодшуда бо базаи меъёриву ҳуқуқи амалкунандаи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соҳаи маориф мувофиқат дошта, метавонад ба системаи миллии баҳодиҳии сифати таҳсилот, ки барои расидан ба ҳадафҳои Стратегияи милли то соли 2044 равона гардидааст, ҳамгиро карда шавад.

Алгоритм ва нақшаи сохтори таҳлили додаҳои таҳияшуда барои ташаккули платформаи ҷағонаи рақамии дастгирии қабули қарорҳои идоракунӣ дар Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон ва мақомоти идоракунӣ маориф дар сатҳҳои гуногун заминаи мусоид фароҳам меоранд.

Муқарриз: Саидзода Н.М. – н.и.т., дотсент, декани факултети Механикаю математикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон.

Адабиёт

1. Муродзода, З. О. Коркард ва таҳлили додаҳои калон дар системаи баҳодиҳии сифати таълим бо истифодаи усулҳои зехни сунъӣ / З. О. Муродзода, Н. И. Юнусов, Ш. Е. Холов // Паёми политехникӣ. Бахши: Интеллект, Инноватсия, инвестиция. – 2025. – №. 3(71). – Р. 53-57. – EDN ILEZTS.
2. Холов, Ш. Е. Цифровое образование: проблемы безопасности и лучшие практики / Ш. Е. Холов // Инженерное образование в цифровом обществе: Материалы Международной научно-методической конференции в двух частях Минск, 15 марта 2024 года. – Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024. – С. 308-311. – EDN QBLJPY.
3. Zara Ersozlu, Sona Taheri, Inge Koch. A review of machine learning methods used for educational data / Z. Ersozlu, S. Taheri, I. Koch // Education and Information Technologies (2024) v.29. Pp. 22125–22145. doi.org/10.1007/s10639-024-12704-0.
4. Bharati Kawade, Aruna Deoskar. Educational Data Analytics: A Review / B. Kawade, A. Deoskar // International Journal of Future Generation Communication and Networking Vol. 13, No. 2, (2020), Pp. 166 – 168.
5. Закон Республики Таджикистан «Об образовании»: в ред. законов РТ от 14.03.2014 №1081 // Законодательство Республики Таджикистан. – Душанбе.
6. Национальная стратегия оценки качества образования в Республике Таджикистан на период до 2044 года. Утверждена постановлением Правительства Республики Таджикистан от 28 февраля 2025 г. № 141.
7. Баранников К.А., Лесин С.М. Методология анализа больших данных в образовании / К.А. Баранников, С.М. Лесин // Народное образование. – 2020. – №2. – С. 81-89.
8. Каюмов, М. М. О цифровом портрете текстовой информации, основанном на частотности знаков пунктуации / М. М. Каюмов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 1(45). – С. 20-23. – EDN KZFCVN.
9. Худойбердиев, Х. А. Амсиласозии раванди шинохти нутқ дар заминаи нутқи забони тоҷикӣ / Х. А. Худойбердиев, Б. Х. Ашурзода // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №. 2(58). – Р. 39-42. – EDN VNMJGH.

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

TJ	RU	EN
Муродзода Зафар Олимҷон	Муродзода Зафар Олимджон	Murodzoda Zafar Olimjon
Унвонҷӯ	Соискатель	Applicant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: murodov@mtu.tj		
TJ	RU	EN
Холов Шавкат Ёрович	Холов Шавкат Ёрович	Kholov Shavkat Yorovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of technical science, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: sh.kholov88@gmail.com		
TJ	RU	EN
Юнусов Низомиддин Исмоилович	Юнусов Низомиддин Исмоилович	Unusov Nizomiddin Ismoilovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of technical science, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: unizom@hotmail.com		

ОИД БА АЛГОРИТМИ ТАҲЛИЛИ ХУДКОРИ МОРФОЛОГИИ КАЛИМАҲОИ ЗАБОНИ ТОЧИКӢ

Г.М. Довудов

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

Дар мақола яке аз алгоритмҳои имконпазири таҳлили морфологии калимаҳои забони тоҷикӣ, ки дар асоси қоидаҳои грамматикӣ сохта мешавад, шарҳ дода шудааст. Дар доираи алгоритми коркардшуда ҳиссаи нутқи калима дар асоси ҳиссаи нутқи реша ва таҳлили префиксҳо ва постфиксҳои ба он пайвастшаванда муайян карда мешавад. Дар ин раванд базаи морфемаҳои иборат аз 81 префикс, 65422 асос ва 2847 постфикс истифода гардидааст. Раванди таҳлил аз чор марҳилаи асосӣ иборат буда, он дар намуди блок-схемаи алгоритмӣ оварда шудааст. Алгоритмҳои таҳияшуда барои омода намудани таҳлилгари худкори морфологии калимаҳои тоҷикӣ дар комплекси барномавӣ татбиқ гардиданд, ки сохтори мантиқии он ба намуди схема пешниҳод мегардад. Бо истифода аз комплекси барномавӣ маҷмӯи калони матнҳои бадеӣ мавриди коркард қарор дода шуданд. Ба таври экспертӣ муайян гардид, ки самаранокии таҳлили худкори морфологӣ ва дурустии натиҷаи он 92,02%-ро ташкил медиҳад. Таҳлили морфологӣ ва нишонагузори морфологӣ яке аз марҳилаҳои калидӣ дар раванди ташкили корпусҳои матнии миллии забон ба шумор меравад. Натиҷаҳои бадастомада дар таҳияи корпусҳои миллий, низомҳои тафтиши имло ва дигар барномаҳои коркарди забони тоҷикӣ васеъ истифода шудаанд.

Калидвожаҳо: забони тоҷикӣ, таҳлили морфологӣ, префикс, асос, постфикс, блок-схема, таҳлили морфологии экспертӣ.

ОБ АЛГОРИТМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЛОВОФОРМ ТАДЖИКСКОГО ЯЗЫКА

Г.М. Довудов

В статье представлено подробное описание алгоритма автоматического морфологического анализа таджикских слов. На основе разработанного алгоритма определяется часть речи слова на основе части речи корня и анализу присоединенных к нему префиксов и постфиксов. Для выполнения исследования была сформирована и применена база морфем, состоящая из 81 префикса, 65422 лексических основ и 2847 постфиксов. Аналитический процесс реализуется поэтапно и включает четыре стадии, представленные в виде алгоритмической блок-схемы. На основе разработанных алгоритмов создан программный комплекс автоматического морфологического анализа таджикских слов, логическая структура которого визуализирована диаграммой. С помощью программного комплекса был обработан большой набор литературных текстов. Установлено, что эффективность автоматического морфологического анализа и точность его результатов составляют 92,02%. Морфологический анализ и тегирование словоформ являются одним из ключевых этапов в процессе создания национальных текстовых корпусов языка. Полученные результаты широко используются при разработке национальных корпусов текстов а также систем автоматической проверки орфографии и других программ для обработки текстов на таджикском языке.

Ключевые слова: таджикский язык, морфологический анализ, префикс, основа, постфикс, блок-схема, экспертный морфологический анализ.

ON AN ALGORITHM FOR AUTOMATIC MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF TAJIK WORD FORMS

G.M. Dovudov

This article describes a detailed description of an algorithm for automatic morphological analysis of Tajik words. The developed algorithm determines the part of speech of a word based on the part of speech of the root and an analysis of the prefixes and postfixes attached to it. A morpheme database consisting of 81 prefixes, 65,422 bases, and 2,847 postfixes was used in the study. The analysis process consists of four main stages and presented as an algorithmic flowchart. The developed algorithms were implemented in a software package for developing an automatic morphological analyzer of Tajik words. The logical structure of which is presented as a diagram. A large set of literary texts was processed using the software package. The effectiveness of the automatic morphological analysis and the accuracy of its results were found to be 92.02%. Morphological analysis and tagging of word forms are one of the key stages in the process of creating national text corpora of the language. The obtained results are widely used in the development of national text corpora, as well as automatic spell-checking systems and other programs for processing texts in the Tajik language.

Keywords: Tajik language, morphological analysis, prefix, stem, postfix, flowchart, expert morphological analysis.

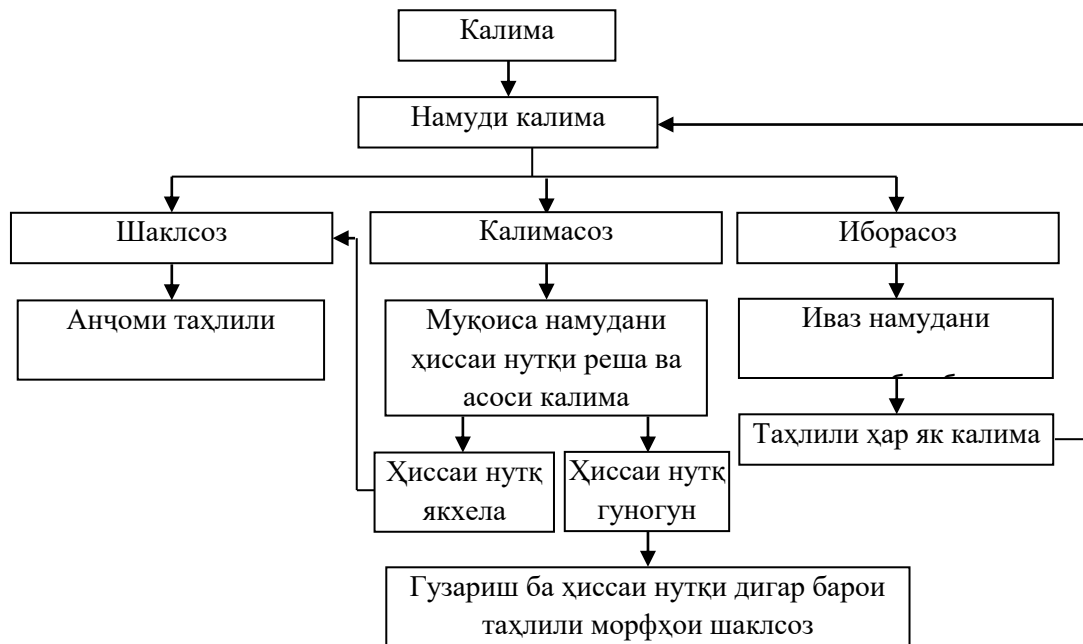
Муқаддима

Калимаи дилхоҳи аз як реша иборат бударо, ба се қисм - морфемаҳо тақсим кардан мумкин аст: префикс, реша (ядрои луғавии калима, ки маънои онро ифода менамояд) ва постфикс (суффикс + бандҳои феълӣ ва ҳабарӣ). Мақсади ниҳои таҳлили морфологӣ ин тақсим намудани калима ба морфҳо ва муайян намудани ҳиссаи нутқи калима мебошад, ки дар кори [1] оварда шудааст.

Дар мақолаи мазкур фарз карда мешавад, ки калима таҳлилшаванда дуруст буда ғалати имлоӣ надорад ва раванди таҳлили морфологӣ дар асоси базаи маҳдуди морфемаҳо – решаҳо, префиксҳо ва постфиксҳо амалӣ карда мешавад.

Алгоритми раванди таҳлили морфологии калимаҳои забони тоҷикиро ба 4 марҳила тақсим намудан мумкин аст:

1. Чудо намудани реша ба морфемаҳо, ки намуди умумии он чунин аст: $WF = PR \oplus R \oplus PS^1 \oplus PS^2$, ки дар ин ҷо R – реша, PR – префикс, PS^1 – суффикс ва PS^2 бандакҳои феълӣ ва ё хабарӣ аст. Суффикси PS^1 ва бандакҳои PS^2 метавонанд, ки постфиксҳои парадигмафар ва ё парадигмасоз



Расми 1 – Тартиби коркарди калимаҳо

бошанд;

2. Муайян сохтани намуди калима (калимасоз, шаклсоз, иборасоз) дар асоси аффиксҳои пайвастшуда;

3. Муайян сохтани ҳиссаи нутқ ва хусусиятҳои грамматикӣ (граммемаҳо)-и решаи мувофиқ аз базаи маълумоти решаҳо;

4.1. Дар асоси натиҷаи марҳилаи дуввум, асос ҳиссаи нутқ ва хусусиятҳои грамматикӣ (граммемаҳо)-и калимаҳои намуди шаклсоз ва ё калимасоз муайян карда мешавад;

4.2. Агар калима ба намуди иборасоз мутааллиқ бошад, онгоҳ аввал калима ба ибора табдил дода шуда, сипас барои ҳар як калимаи таркиби иборати ҳосилшуда қадамҳои марҳилаи 4.1. иҷро карда мешавад.

Шиносандаи морфологӣ, ки дар асоси базаи маълумоти маҳдуди морфемаҳои иборат аз 81 префикс, 65 422 асос ва 2847 постфикс (суффиксҳои PS^1) омода карда шудааст, ду марҳилаи аввали таҳлили морфологиро иҷро мекунад, ки дар қорҳои [2-5] оварда шудаанд.

Системаи таҳлили худкори морфологӣ дар асоси алгоритми коркарди калима, ки бо назардошти ҳиссаи нутқи решаи калима ва аффиксҳои ба реша пайвастшуда омода гардида аст, иҷро карда мешавад, ки моҳияти он дар расми 1 оварда мешавад.

Новобаста аз намуд ва ҳиссаи нутқи калима, алгоритми коркади калимаҳо намуди якхеларо доранд. Дар ҳолати ба намуди шаклсоз тааллуқ доштани калима таҳлили морфологии он дар доираи алгоритми коркарди калимаҳои ин ҳиссаи нутқ қомилан иҷро карда мешавад.

Калимаҳои намуди иборасоз дар аввал ба ибора табдил дода шуда, таҳлили морфологии калимаҳои таркиби ибора ҳар яке дар алоҳидагӣ иҷро карда мешаванд.

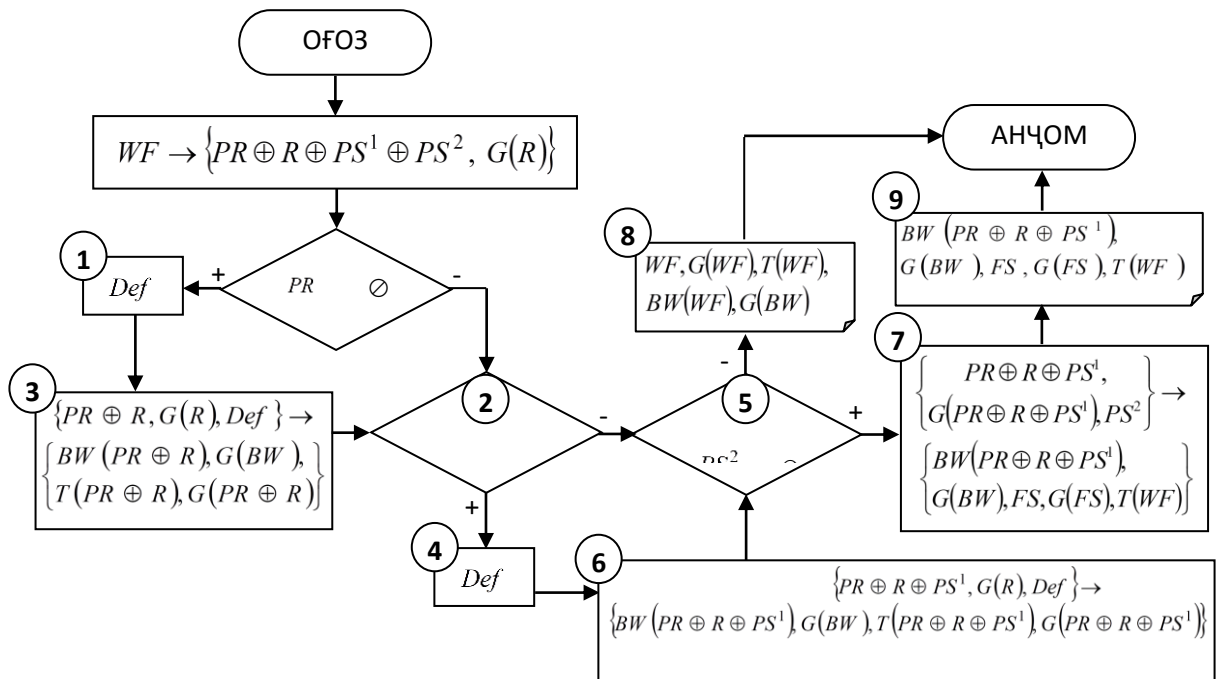
Барои калимаҳои намуди калимасоз, ки дар он асоси калима намуди $PR \oplus R \oplus PS^1$ -ро дорад, ду ҳолати имконпазири таҳлили морфологии калима мавҷуд аст:

- дар ҳолати ба як ҳиссаи нутқ тааллуқ доштани реша ва асоси калима, он нисбат ба асоси худ ҳамчун калимаи шаклсоз ҳисобида шуда, таҳлили морфологӣ ба пуррагӣ иҷро карда мешавад;

- дар ҳолати ба ҳиссаҳои гуногуни нутқ тааллуқ доштани реша ва асоси калима, алгоритми таҳлили морфологӣ ба ҳиссаи нутқи реша асосёфта ба анҷом мерасад ва калима дар заминаи алгоритми таҳлили морфологӣ ҳиссаи нутқи асоси калима таҳлил карда мешавад.

Бо назардошти миқдори ҳиссаҳои нутқи забони тоҷикӣ 16 зерсистемаи таҳлили морфологӣ калимаҳое, ки асосашон ба ҳиссаҳои нутқи муайян тааллуқ доранд тартиб дода шудааст. Таҳлилгари худкори морфологӣ пешниҳодшаванда бо истифода аз шиносандаи морфологӣ ва ин 16 зерсистема таҳлили морфологӣ калимаҳои забони тоҷикиро иҷро мекунад. Модели умумии таҳлилгари морфологӣ дар расми 2, пешниҳод мешавад, ки дар кори [6] оварда шудааст.

Дар расм бар иловаи WF , PR , R , PS^1 ва PS^2 ишораҳои зерин истифода мешаванд: BW – асоси калима, FS – калимаи иборасоз, ки аз рӯи мазмун ба ибора баробарарзиш аст; $G(f)$, $BW(f)$, $T(f)$ – функцияҳо барои муайян намудани граммемаҳо, асос ва намуди (шаклсоз, калимасоз ва иборасоз) аргументи f , ки қиматҳои $PR \oplus R$, R , $PR \oplus R \oplus PS^1$ ва $R \oplus PS^1$ -ро қабул карда метавонад. Илова бар ин, намуди префикс (постфикс) бо Def ишора шудааст. Агар намуди морфема шаклсоз бошад, он гоҳ қиммати $Def = 1$, дар акси ҳол $Def = 0$ мешавад.



Расми 2 – Модели ҷамъбасти таҳлили морфологӣ калимаҳо

Раванди таҳлили морфологӣ калимаи дилхоҳ аз дохилкунии калима оғоз гардида шиносандаи морфологӣ ду марҳилаи аввали таҳлили морфологӣ калимаҳоро иҷро менамояд:

- ҷудо кардани калима ба морфемаҳо;
- муайян намудани ҳиссаи нутқ ва хусусиятҳои грамматикӣ (граммемаҳо)-и реша.

Қадами минбаъдаи алгоритм вобаста ба мавҷуд будан (иҷроиши амалиёти қисми 1) ва ё набудани (иҷроиши амалиёти қисми 2) префикс дар таркиби калимаи коркардшаванда иҷро мегардад.

Дар қисми 1 қиммати тағирёбандаи Def дар асоси намуди префикс (шаклсоз 1 дар акси ҳол 0) муайян мегардад. Пас аз он гузариш ба қисми 3 иҷро карда мешавад. Дар қисми 3 дар асоси қиммати қисмати $PR \oplus R$ -и калимаи WF , граммемаҳои реша R ва маълумоти Def оид ба намуди префикс асоси $BW(PR \oplus R)$ қисмати $PR \oplus R$, граммемаҳои асос $G(BW)$, намуд $T(PR \oplus R)$ ва граммемаҳои $G(PR \oplus R)$ -и қисмати $PR \oplus R$ муайян карда мешавад.

Қайд қардан зарур аст, ки қисмати $PR \oplus R$ метавонад, бо асос мувофиқ наояд. Агар намуди префикс PR шаклсоз бошад, он гоҳ $BW(PR \oplus R) = R$ мешавад. Дар калимаи “меғуфт” префикси $PR = “ме”$ шаклсоз аст. Аз ин сабаб, $BW(“ме” \oplus “ғуфт”) = “ғуфт”$ мебошад.

Дар ҳолати ба намуди калимасоз тааллуқ доштани префикс $BW(PR \oplus R)PR \oplus R$ аст. Дар калимаи “беинсоф” намуди префикси $PR = “бе”$ калимасоз аст. Бинобар ин, $BW(“бе” \oplus “инсоф”) = “беинсоф”$ мешавад, яъне асос ва қисмати $PR \oplus R$ ба ҳам баробаранд.

Гузариши минбаъда аз қисми 2 дар заминаи мавҷуд будан (гузариш ба қисми 4) ва ё мавҷуд набудани (гузариш ба қисми 5) постфикси PS^1 дар таркиби калимаи таҳлилшаванда иҷро карда мешавад.

Қиммати тағирёбандаи Def дар қисми 4 аз намуди постфикс вобаста буда, агар постфикс шаклсоз бошад, қиммати он ба 1 ва дар акси ҳол қиммати он ба 0 баробар мешавад. Пас аз он гузариш ба қисми 6 амалӣ мешавад. Дар қисми 6 дар асоси қисмати $PR \oplus R \oplus PS^1$ -и калимаи WF , граммемаҳои реша R ва қиммати Def оид ба намуди постфикс, асоси $BW(PR \oplus R \oplus PS^1)$ қисмати $PR \oplus R \oplus PS^1$, граммемаҳои асос $G(BW)$, намуд $T(PR \oplus R \oplus PS^1)$ ва граммемаҳои $G(PR \oplus R \oplus PS^1)$ -и қисмати $PR \oplus R \oplus PS^1$ муайян карда мешаванд.

Дар баъзе ҳолатҳо метавонад, ки матни қисмати $PR \oplus R \oplus PS^1$ ба матни асос мувофиқ наояд. Агар намуди постфикс шаклсоз бошад, дар ин ҳолат $BW(PR \oplus R \oplus PS^1) = (PR \oplus R) \wedge R$ шуда метавонад. Масалан, дар калимаи “ҳамхонаҳо” намуди постфикси $PS^1 = “ҳо”$ шаклсоз аст. Вобаста ба ин, $BW(“ҳам” \oplus “хона” \oplus “ҳо”) = “ҳамхона”$ мешавад.

Дар ҳолати калимасоз будани постфикс натиҷаи $BW(PR \oplus R \oplus PS^1) = (PR \oplus R \oplus PS^1) \wedge R \oplus PS^1$ шуда метавонад. Масалан, дар калимаи “ҳамдилӣ” намуди постфикси $PS^1 = “ӣ”$ калимасоз буда, дар ин замина, $BW(“ҳам” \oplus “дил” \oplus “ӣ”) = “ҳамдилӣ”$, матни асоси калима ва матни қисмати $PR \oplus R \oplus PS^1$ ба ҳам баробаранд.

Дар қисми 5 мавҷудияти PS^2 тафтиш карда мешавад. Агар постфикс мавҷуд бошад, гузариш ба қисми 7 дар акси ҳол, ба қисми 8 амалӣ мегардад.

Дар қисмати 8 дар заминаи қисмати $PR \oplus R \oplus PS^1$ -и калимаи WF , граммемаҳои $G(PR \oplus R \oplus PS^1)$, қисмати $PR \oplus R \oplus PS^1$ ва постфикси PS^2 асоси $BW(PR \oplus R \oplus PS^1)$ қисмати $PR \oplus R \oplus PS^1$, граммемаҳои асос $G(BW)$, намуд $T(WF)$ ва граммемаҳои $G(PR \oplus R \oplus PS^1)$ -и қисмати $PR \oplus R \oplus PS^1$ муайян карда мешавад. Сипас, бо истифодаи алгоритми махсус, калимаи иборасоз ба намуди ибора FS в граммемаҳои ҳар як калимаи ибора $G(FS)$ ифода мешавад, ки он дар кори [7] баррасӣ гардидааст.

Дар қисмҳои 8 ва 9 натиҷаи ниҳоии таҳлили морфологии калима оварда мешавад.

Бо истифода аз барномаи таҳлилгари морфологӣ ва базаи морфҳои иборат аз 81 префикс, 65 422 асос ва 2847 постфикс (суффиксҳои PS^1) маҷмӯи матнҳои иборат аз 59 344 883 калимаҳои мутааллиқ ба услуби бадеӣ аст, коркард карда шуд.

Таҳлили пешакии ҷадвал нишон медиҳад, ки зудии басомади воҳурии калимаҳои ба исм (37,56%) ва феъл (12,86%) мутааллиқ буда зиёдтарин аст, зеро исм ва феъл маънои аслии ҷумларо ифода мекунанд. Дар навбати худ ин ҳиссаҳои нутқ бо маҷмуи калимаҳои ба пешоянд (8,17%), сифат (7,45%) ва ҷонишин (7,49%) мутааллиқ буда, дақиқ карда мешаванд. Маълумоти мухтасар дар ҷадвали зерин пешниҳод карда шудааст.

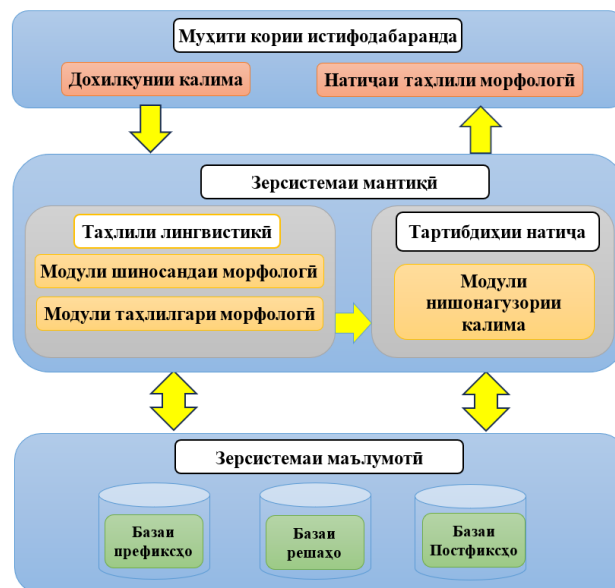
Ҷадвали 1 – Натиҷаи таҳлили басомади воҳурии калимаҳо вобаста аз аъзои нутқ

Ҳиссаи нутқ	Калимаҳои беназир, %	Калимаҳо, %
Исм	58,25	37,56
Сифат	19,8	7,45
Шумора	1,09	1,56
Ҷонишин	0,31	7,49
Феъл	11,74	12,86
Масдар	1,34	1,06
Сифати феълӣ	3,85	3,89
Зарф	1,97	2,97
Пешоянд	0,07	8,17

Анҷоми ҷадвали №1		
Пасоянд	0	0
Пайвандак	0,06	5,29
Ҳиссача	0,09	1,47
Нидо	0,08	0,12
Калимаи тақлиди овозӣ	0,07	0,01
Нумератив	0,04	0,1
Омоним	1,24	10

Барои муайян намудани ҳиссаи нутқи калимаҳое, ки ба якҷанд ҳиссаҳои нутқ мутаалиқ буда - омонимҳо (10%) тадқиқоти иловагиро талаб мекунад. Ин тадқиқот метавонад, ки бо истифодаи маълумоти омӯрӣ, имкониятҳои ҳуши маснуӣ ва ё бо дигар усулҳои математикӣ иҷро карда шавад. Дар ҳамаи усулҳо бавосита ва ё бевосита мазмуни ҷумла бояд ба инобат гирифта шавад.

Дар асоси алгоритмҳои таҳияшуда комплекси барномавӣ бо истифодаи технологияи барномарезии ба объект нигаронидашуда – забони барномасозии C# барои таҳлилгари худкори морфологӣ калимаҳо коркард карда шуд. Дар расми 3 тавсифи комплекси барномавӣ, ки 4 марҳилаи таҳлили морфологиро иҷро мекунад, оварда шудааст, ки он дар қори [8] баррасӣ гардидааст.



Расми 3 – Сохтори схемавии барномаи комплексӣ

Банди 1. Дар зерсистемаи “Мухити қори истифодабаранда” истифодабаранда ду имконият – доҳилкунии калима ва ба қабули натиҷаи таҳлилро дорад. Пас аз доҳил кардани калима ба истифодабаранда натиҷаи таҳлил дар ҷунин намуд пешниҳод карда мешавад:

- асоси калима ва ҳиссаи нутқи он;
- маҷмуи нишонаҳои грамматикӣ (граммаҳо)-и калима.

Бо мақсади илова намудани барномаи мазкур ба таркиби дигар барномаҳои коркарди забони табиӣ варианти Dll-китобхонаи барнома низ омода карда шуда аст, ки он дорои функсияи getTags бо параметри Word аст. Функсияи мазкур пас аз таҳлили калимаи пешниҳодшуда натиҷаи таҳлилро дар намуди массиви иборат аз калима, асоси калима ва грамматикӣ шаклсозии калима бармегардонад.

Банди 2. Зерсистемаи мантиқӣ аз ду қисм - “Таҳлили лингвистикӣ” ва “Тартибдиҳии натиҷа” иборат аст. Таҳлили лингвистикӣ аз ду модул - “Шиносандаи морфологӣ” ва “Таҳлилгари морфологӣ” иборат аст.

Вазифаи модули “Шиносандаи морфологӣ” ҷудо намудани калима ба морфемаҳо ва муайян намудани реша ва хусусиятҳои грамматикӣ (граммема)-ҳои он мебошад. Дар асоси ин маълумот модули “Таҳлилгари морфологӣ” асоси калима ва маҷмуи хусусиятҳои грамматикӣ (граммема)-ҳои

калимаро муайян месозад. Модули “Тартибдиҳии натиҷа” маълумоти дар модули “Таҳлилгари морфологӣ” ҳосилшударо ба намуди махсус табдил дода онро ҳамчун натиҷаи ниҳой ба модули “Натиҷаи таҳлили морфологӣ” мефиристад.

Банди 3. Зерсистемаи маълумотӣ аз се базаи маълумоти префиксҳо, решаҳо ва постфиксҳо иборат буда, онҳо аз ҷониби модулҳои банди 2 тавсифшуда истифода бурда мешаванд. Базаи маълумот дар системаи идоракунии базаи маълумоти MySQL коркард карда шудааст.

Хулоса

Бо мақсади истифодаи амалии барномаи комплексӣ ва санҷиши самаранокии таҳлили морфологӣ калимаҳои забони тоҷикӣ 41824 калимаҳои унікалӣ, ки дар натиҷаи коркарди маҷмӯи матнҳои иборат аз 314134 калима ҳосил шудаанд, коркард карда шуд. Дар натиҷа маълум гардид, ки 92,02% калимаҳоро барнома мувофиқи қоидаҳои грамматикаи забони тоҷикӣ таҳлили морфологӣ дуруст намуда аст. Ин нишондиҳанда барои истифодаи назариявӣ ва амалӣ қобили қабул ҳисобид мешавад.

Натиҷаи тадқиқот дар раванди коркард ва татбиқи низоми тафтиши худкори имлои забони тоҷикӣ – лоиҳаи TajSpell ҳамчун заминаи появӣ мавриди истифода қарор дода шудааст, ки дар корҳои [9-10] мавриди баррасӣ қарор гирифтааст.

Муқарриз: Фафуров М.Х. – н.и.т., дотсенти қабедраи ЛТНВаХМ ДЛТТ ба номи ақадемик М.С. Осимӣ.

Адабиёт

1. Исмаилов М.А. – Основы автоматизированного морфологического анализа слов таджикского языка - Душанбе, Институт математики АН РТ: 1994, 156 с.
2. Усманов З.Д., Довудов Г.М. Формирование базы морфов таджикского языка. – Душанбе: Дониш, 2014, 110 с.
3. Усманов З.Д., Солиев О.М., Довудов Г.М. О множестве постфиксов таджикского литературного языка. - Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2010. Т.53. №2. С.99-103.
4. Усманов З.Д., Довудов Г.М. О статистических закономерностях морфемной базы таджикского языка. - Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2010. Т.53. №3. С.188-191.
5. Усманов З.Д., Довудов Г.М. О формировании базы префиксов таджикского литературного языка. - Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2009. Т. 52. № 6. С. 431-436.
6. Усманов З.Д., Довудов Г.М. Морфологический анализ словоформ таджикского языка. – Душанбе: Дониш, 2015, 132 с.
7. Усманов З.Д., Довудов Г.М. Алгоритм представления таджикских словосочетательных словоформ фрагментами предложений. - Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук, 2013. № 4 (153). С. 69-76.
8. Усманов З.Д., Довудов Г.М., Солиев О.М. - Таджикский компьютерный морфоанализатор. Лицензия (информационный ресурс) зарегистрирована ЗИ-03.2.220 ТД, 20.12.2011. Национальный патентно-информационный центр. Министерство экономического развития и торговли РТ.
9. Худойбердиев, Х. А. Об алгоритме проверки орфографии на примере таджикского языка / Х. А. Худойбердиев // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 3(55). – С. 58-63. – EDN XDGRTM.
10. Солиев, О. М. Система автоматической проверки орфографии таджикского языка - TajSpell / О. М. Солиев, Х. А. Худойбердиев, Г. М. Довудов // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2021. – № 3(46). – С. 188-194. – EDN WZYMGP.

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

TJ	RU	EN
Довудов Гулшан Мирбахоевич н.и.т., омӯзгори калон	Довудов Гулшан Мирбахоевич к.т.н., старший преподаватель	Dovudov Gulshan Mirbakhoevich Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer
Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М.С. Осимӣ дар ш. Хучанд	Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, г. Худжанд	Polytechnic Institute of the Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Khujand
E-mail: dovudovg@mail.ru		

АМСИЛАҲОИ ХАТТӢ, ДАРАҶАВӢ, ЭКСПОНЕНСИАЛӢ ВА ЛОГИСТИКӢ ДАР ТАСВИРИ ДИНАМИКАИ АФЗОИШИ ВАЗНИ ЗИНДАИ МУРҒИ МАРҶОН

Ф.С. Комилиён, Д.И. Солихзода

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Барои тасвир ва пешгӯии раванди афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷон бо истифода аз усули таҳлили муқоисавӣ аз байни панҷ амсилаи математикии хаттӣ, дараҷавӣ ($r = 0,5$; $r = 2$), экспоненсиалӣ ва логистикӣ амсилаи беҳтарин муайян карда шудааст. Тибқи таҳлилҳо беҳтарин амсила амсилаи логистикӣ дониста шудааст. Зеро он раванди сершавии физиологӣ ва марҳилаҳои алоҳидаи кинетикаи афзоиши вазни зиндари дуруст инъикос карда, графикаш нуқтаи қатъшавӣ дорад.

Калидвожаҳо: амсилаи математикӣ, функсияи хаттӣ, функсияи дараҷавӣ, функсияи экспоненсиалӣ, функсияи логистикӣ, мурғи марҷон, зот, динамикаи афзоиши, вазни зинда, тасвир, таҳлил, таҳқиқ, пешгӯӣ.

ЛИНЕЙНАЯ, СТЕПЕННАЯ, ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНАЯ И ЛОГИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ В ОПИСАНИИ ДИНАМИКИ РОСТА БИОМАССЫ ИНДЕЙКИ

Ф.С. Комилиён, Д.И. Солихзода

Для описания и прогнозирования процесса роста живой массы индейки была определена наилучшая модель из пяти математических моделей: линейной, степенной ($r=0,5$; $r=2$), экспоненциальной и логистической. Согласно анализу, наилучшей моделью оказалась логистическая модель, поскольку она корректно отражает процесс физиологического насыщения и отдельные фазы кинетики роста живой массы, а на ее графике имеется точка перегиба.

Ключевые слова: математическая модель, линейная функция, степенная функция, экспоненциальная функция, логистическая функция, индейка, порода, динамика роста, биомасса, описание, анализ, исследование, прогнозирование.

LINEAR, POWER-LAW, EXPONENTIAL AND LOGISTIC MODELS IN DESCRIPTION OF TURKEY BIOMASS GROWTH DYNAMICS

F.S. Komiliyon, D.I. Solihzoda

To describe and predict the process of live weight growth in turkeys, the best model was determined from five mathematical models: linear, power-law ($r=0.5$; $r=2$), exponential, and logistic. According to the analysis, the logistic model was the best, as it accurately reflects the process of physiological saturation and individual phases of live weight growth kinetics, and its graph contains an inflection point.

Keywords: mathematical model, linear function, power-law function, exponential function, logistic function, turkey, breed, growth dynamics, biomass, description, analysis, research, forecasting.

Муқаддима

Усулҳои амсиласозии математикӣ дар тасвир ва таҳлили динамикаи рушди синнусолии массаи биологии популятсияҳо ба таври васеъ истифода бурда мешаванд. Масалан, дар тасвир, пешгӯӣ ва арзёбии хусусиятҳои синнусолии динамикаи афзоиши вазни зинда ва маҳсулнокии популятсияи парандаҳо бештар аз амсилаҳои математикии маъруф ва маъмули Пюттер [1], Берталанффи [2], Бричес [3], Меншуткин [4], Мак-Миллан [5] ва дигар амсиласозони машҳури ҷаҳонӣ истифода мебаранд.

Мо низ зимни баргузори таҳқиқҳои қаблии худ, вобаста ба омӯзиш ва арзёбии маҳсулнокии мурғи марҷон [6-7], моҳӣ [8-11], занбӯри асал [12] ва дигар намудҳои биологӣ, амсилаҳои мазкурро мавриди истифода ва таҳлили математикии ҳамаҷониба қарор дода будем. Дар таҳқиқоти мазкур бошад, тасмим гирифтем, ки тасвири хусусиятҳои синнусолии динамикаи афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷонро бо истифода аз имконоти таҳлили амсилаҳои математикии маъмул ва аз ҷиҳати сохтор нисбатан сода анҷом диҳем. Аз ин рӯ, ба сифати объекти таҳқиқотӣ, мо дар ин маврид, амсилаҳои математикии хаттӣ, дараҷавӣ, экспоненсиалӣ ва логистикиро интихоб кардем.

Дараҷаи татбиқшавандагӣ ва арзиши таҳқиқотии ин амсилаҳоро мо пештар зимни омӯзиш ва арзёбии динамикаи синнусолии афзоиши массаи биологии гулмоҳӣ [2; 10-11] низ санҷида будем. Дар ин ҷо меҳомем, ки бо ёрии ин афзорҳои таҳқиқотӣ аз нав хусусиятҳои синнусолии динамикаи афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷонро арзёбӣ кунем ва дар хусуси татбиқшавандагӣ ё татбиқнашавандагии онҳо итминони комил ҳосил кунем.

Амсилаи хаттӣ. Намуди умумии амсилаи математикии дар асоси функсияи хаттӣ сохташуда, ки дар тасвир ва ҳисобкунии динамикаи рушди вазни зиндаи индивиди гулмоҳӣ ва дигар намудҳои биологӣ истифода шудааст [2; 4; 11], чунин аст:

$$M(t) = M_0 + (M_{max} - M_0) \cdot \frac{t}{t_{max}}. \quad (1)$$

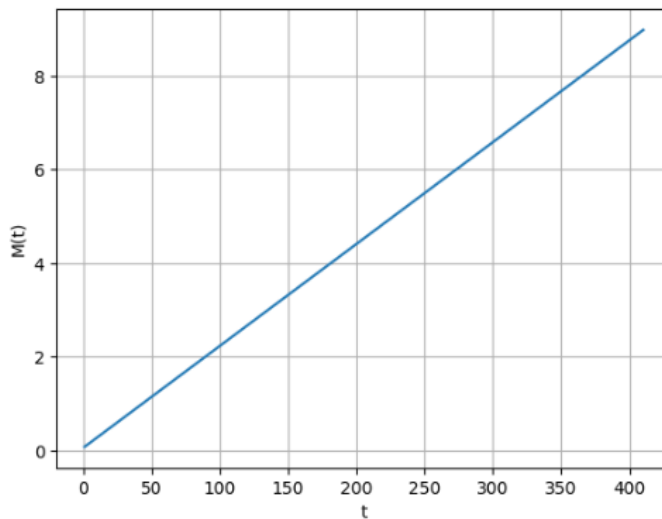
Ишораҳои математикии формулаи (1) ($M(t), M_0, M_{max}, t, t_0, t_{max}$), ки дар таҳқиқоти мо тамоюли афзоиши вазни зиндаи индивиди мурғи марҷонро ифода менамоянд, дорои маънои математикию биологиче зерин мебошанд:

$M(t)$ – қимати вазни зиндаи ҳисобшавандаи индивиди мурғи марҷон дар лаҳзаи вақти додашудаи марҳилаи умумии парвариши $t \in [t_0; t_{max}]$;

$M_0 = M(t_0)$ – қимати аввалаи вазни зиндаи индивиди алоҳидаи мурғи марҷон дар ибтидои марҳилаи умумии парвариш $t = t_0$ (ё вазни зиндаи миёнаи мурғони марҷони синну соли додашуда дар интиҳои вақти зермарҳилаи қаблии парвариш);

$M_{max} = M(t_{max})$ – қимати максималии вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон дар интиҳои марҳилаи умумии парвариш $t = t_{max}$.

Дар расми 1 динамикаи афзоиши вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон $M(t)$ дар масири марҳилаи умумии парвариши $[t_0; t_{max}]$ мутобиқан ба қимати таҷрибавии бузургҳои амсилавӣ $t_0 = 1$; $t_{max} = 410$; $M_0 = 0,0582$; $M_{max} = 8,98$ тасвир ёфтааст [6; 13].



Расми 1 – Графики амсилаи математикии хаттӣ оид ба афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷон

Махсусияти функцияи хаттии амсилаи математикии (1) дар он зоҳир гардидааст, ки тибқи тасвири графикии он (расми 1) вазни амсилавии индивиди мурғи марҷон дар фосилаи вақти парвариш $t_0 \leq t \leq t_{max}$ мутлақо хаттӣ (пайваस्ताи қатъӣ) афзоиш ёфтааст. Натиҷаи мазкур аз табиати хосиятҳои математикии ҳуди функцияи хаттӣ бармеояд. Аммо, фавран бояд изҳор дошт, ки тамоюли мазкури афзоиши амсилавии вазни зинда ба хусусиятҳои физиологӣ ва суръати афзоиши воқеии массаи биологиче мурғи марҷон ва умуман, кулли парандагон тамоман мувофиқат намекунад.

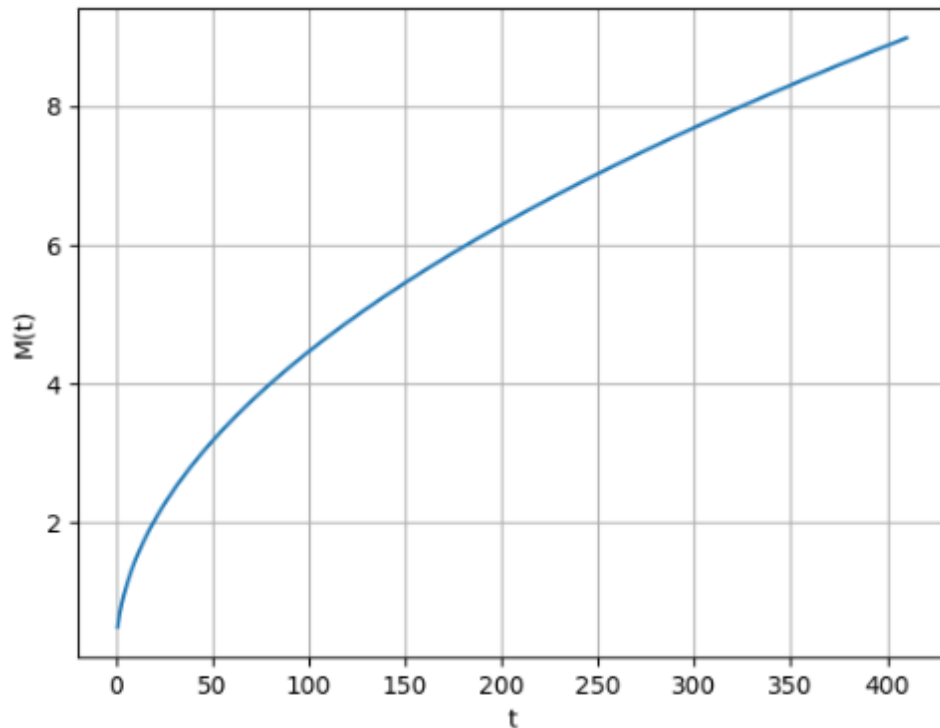
Амсилаи дараҷавӣ. Намуди умумии амсилаи математикии дар асоси функцияи дараҷавӣ амалкунанда, ки дар тасвир ва ҳисобкунии динамикаи рушди вазни зиндаи индивиди алоҳидаи мурғи марҷон ва дигар намудҳои биологӣ истифода шудааст, чунин аст [2; 4; 11]:

$$M(t) = M_0 + (M_{max} - M_0) \cdot \left(\frac{t}{t_{max}}\right)^r. \quad (2)$$

Тавре аз намуди умумии амсилаи математикии дараҷавӣ (2) дида мешавад, он аз рӯйи сохтор аз амсилаи математикии хаттӣ (1) танҳо бо иловаи нишондиҳандаи дараҷаи функция r фарқ мекунад. Маънои математикию биологиче ишораҳои дар формулаи (2) истифодашуда $M(t), M_0, M_{max}, t, t_0, t_{max}$ низ тамоюли афзоиши вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон $M(t)$ -ро дар фосилаи вақти парвариш $t_0 \leq t \leq t_{max}$ ба монанди ҳамин гуна ишораҳои математикии дар формулаи (1) истифодашуда ифода менамоянд.

Зимни татбиқи функсияи дараҷавӣ (2) тамоюли рушди графикаи вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон метавонад аз рӯйи яке аз ду сенария амалӣ шавад: нишондиҳандаи дараҷаи функсия $r < 1$ (ҳолати нисбатан сусти афзоиши вазни зинда) ва нишондиҳандаи дараҷаи функсия $r > 1$ (ҳолати босуръати афзоиши вазни зинда).

Масалан, дар расми 2 тасвири графикаи функсияи дараҷавӣ ҳолати нишондиҳандаи дараҷа $r = 0,5$ будан $\left[M(t) = M_0 + (M_{max} - M_0) \cdot \left(\frac{t}{t_{max}} \right)^{0,5} \right]$ -ро барои қиматҳои таҷрибавии $t_0 = 1$; $t_{max} = 410$; $1 \leq t \leq 410$; $M_0 = 0,0582$; $M_{max} = 8,98$ муаррифӣ намудааст [6; 13]:



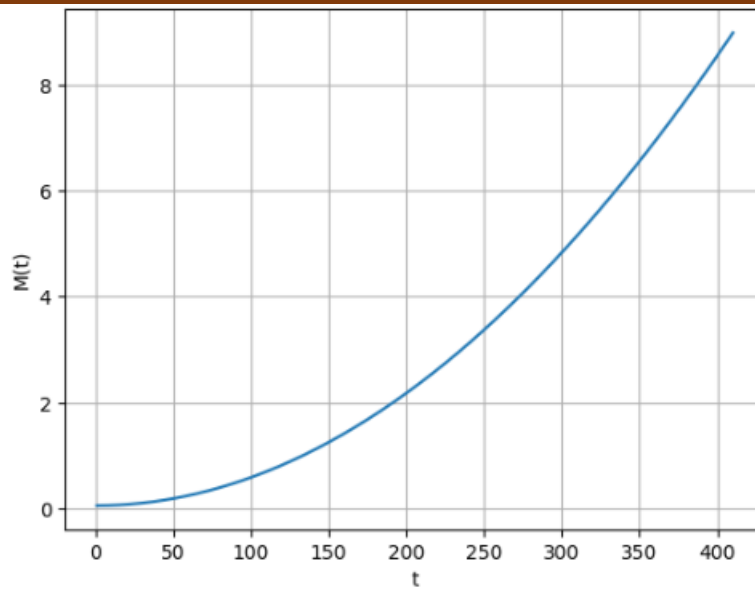
Расми 2 – Графика амсилаи математикии дараҷавӣ ($r = 0,5$) оид ба афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷон

Аз тасвири графикаи функсияи дараҷавӣ (расми 2) дида мешавад, ки дар мавриди қимати бузургҳои амсилави $M(t_0) = M_0$ ва $M(t_{max}) = M_{max}$ ва нишондиҳандаи дараҷаи функсия $r = 0,5$ будан, вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон $M(t)$ дар ибтидои марҳилаи парвариш босуръат афзоиш ёфта, бо гузашти вақти муайян афзоиши он тадриҷан суст гаштааст, ки ин хосси афзоиши массаи биологии парандагон намебошад.

Дар расми 3 бошад, графикаи функсияи дараҷавӣ барои ҳолати $r = 2$ ва қиматҳои қаблии бузургҳои амсилави: $t_0 = 1$; $t_{max} = 410$; $M_0 = 0,0582$;

$$M_{max} = 8,98 \text{ тасвир ёфтааст } \left[M(t) = M_0 + (M_{max} - M_0) \cdot \left(\frac{t}{t_{max}} \right)^2 \right].$$

Аз тасвири графикаи мазкури функсияи дараҷавӣ (расми 3) аён аст, ки афзоиши вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон $M(t)$ аз нуқтаи $M(t_0) = M_0$ оғоз ёфта, дар нуқтаи $M(t_{max}) = M_{max}$ ба анҷом расидааст. Функсия дар ин маврид (ҳолати $r = 2$) рушди графикаи босуръати (параболикии) вазни зиндаи мурғи марҷонро таъмин намуда, дар фосилаи вақти $t_0 \leq t \leq t_{max}$ мунтазам афзудааст, ки ин тамоюл низ ба хусусияти афзоиши воқеии массаи биологии парандагон муҳолифат дорад.



Расми 3 – Графики амсилаи математикии дараҷавӣ ($r = 2$) оид ба афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷон

Амсилаи экспоненсиалӣ. Сохтори математикии амсилаи дар асоси функсияи экспоненсиалӣ коркунанда, ки барои тасвир ва ҳисобкунии динамикаи рушди вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон ва дигар намудҳои биологӣ истифода шудааст, аз сохтори математикии амсилаҳои хаттӣ ва дараҷавии қаблан баррасишуда куллан фарқ мекунад [2; 4; 11]:

$$M(t) = M_0 \cdot e^{\ell_1 t}, \ell_1 = \frac{1}{t_{\max}} \cdot \ln \frac{1}{M_0}. \quad (3)$$

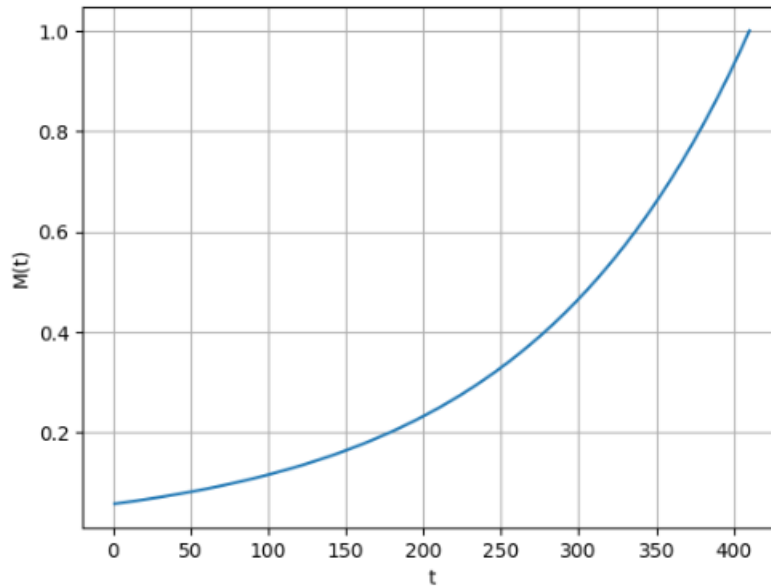
Аммо маънои математикию биологӣ ишораҳои дар формулаи (3) истифодашуда $M(t)$, M_0 , t , t_0 , $t_{\max}$, ки тамоюли афзоиши вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон $M(t)$ -ро дар фосилаи вақти парвариш $t_0 \leq t \leq t_{\max}$ амсиласозӣ мекунад, аз маънои ҳамин гуна ишораҳои математикии дар формулаҳои (1) ва (2) истифодашуда ягон фарқ надорад.

Дар мавриди бо ёрии амсилаи экспоненсиалӣ ҳал намудани масъалаи таҳқиқотӣ суръати афзоиши вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон ба мисли ҳолати қаблии $r = 2$ (амсилаи дараҷавӣ) ба таври монотонӣ меафзояд. Вале тамоюли афзоиш характери экспоненсиалӣ дорад, яъне дар ибтидои марҳилаи парвариш суръати афзоиши вазни зинда сусттар сурат гирифта, зимни ба интиҳои марҳилаи парвариш наздик шудан, хусусияти тезшавӣ ба худ пайдо мекунад.

Дар расми 4 графики функсияи экспоненсиалӣ, ки дар заминаи рамзҳои барномавии зерини забони барномасозии объектгарои Python ҳосил шудааст, барои фосилаи вақти $1 \leq t \leq 410$ ва қимати аввалаи вазни зиндаи индивиди мурғи марҷони зоти сафеди синапахн $M_0 = 0,0582$ дар ибтидои марҳилаи парвариш тасвир ёфтааст [6; 13]:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
t0 = 1
t_max = 410
M0 = 0.0582
l1 = (1 / t_max) * np.log(1 / M0)
t = np.linspace(t0, t_max, 500)
M = M0 * np.exp(l1 * t)
plt.figure(figsize=(7, 4.5))
plt.plot(t, M, label=r"$M(t)=M_0 e^{\ell_1 t}$")
plt.xlabel("t")
```

```
plt.ylabel("M(t)")
plt.title("Графики функция экспоненциалӣ")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```



Расми 4 – Графики амсилаи математикии экспоненциалӣ оид ба афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷон

Қимати ададии параметри $\ell_1 = \frac{1}{t_{max}} \cdot \ln \frac{1}{M_0}$ амсилаи математикии (3) бо ёрии барномаи компютери болоӣ ҳисоб шудааст: $\ell_1 \approx 0,00694$.

Амсилаи логистикӣ. Сохтори математикии амсилаи дар асоси функцияи логистикӣ амалкунанда низ, ки барои тасвир ва ҳисобкунии динамикаи рушди вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон ва индивидҳои дигар намудҳои биологӣ истифода шудааст, аз сохтори математикии ҳар се амсилаи (хаттӣ, дараҷавӣ, экспоненциалӣ) қаблӣ фарқ дорад [2; 4; 11]:

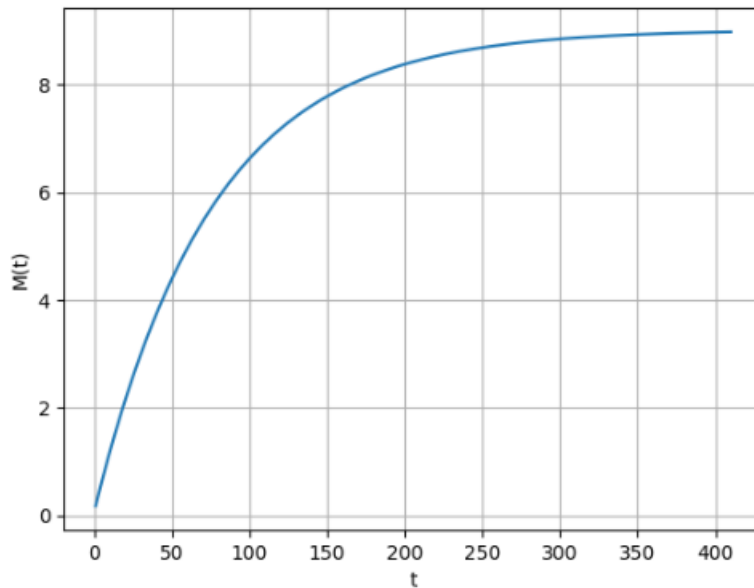
$$M(t) = M_0 + (M_D - M_0) \cdot (1 - e^{-\ell_2 t}), \quad \ell_2 = -\frac{1}{t_{max}} \cdot \ln \frac{M_D - M_{max}}{M_D - M_0}; \quad (4)$$

Маънои математику биологи ишораҳои дар формулаи (4) баррасишуда $M(t), M_0, M_{max}, t, t_0, t_{max}$ низ (ба истиснои ишораи M_D), ба мисли ҳамин гуна ишораҳои математикии дар формулаҳои (1)-(3) татбиқшуда, тамоюли афзоиши вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон $M(t)$ -ро дар фосилаи вақти парвариш $t_0 \leq t \leq t_{max}$ амсиласозӣ мекунад. Ишораи M_D қимати дефинитивии вазни зиндаи индивиди мурғи марҷон ё ҳадди синнусолии вазни зиндаи онро муаррифӣ менамояд, ки зимни ба он расидани $M(t)$ суръати афзоиши вазни зинда тамоман қатъ мегардад.

Ҳамин тариқ, дар сурати татбиқи компютери функцияи логистикӣ (4), бо болоравии синну соли амсилавии индивиди мурғи марҷон суръати афзоиши вазни зиндаи он тадриҷан коҳиш ёфта, зимни ба ҳадди генетикӣ (қимати дефинитивӣ M_D) расидани вазни зинда, суръати афзоиши он қатъ мегардад. Яъне, тамоюли логистикии инкишоф нисбат ба тамоюли инкишофи бо ёрии дигар функцияҳо (хаттӣ, дараҷавӣ ва экспоненциалӣ) ҳосилшуда раванди амсилавии афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷонро беҳтар рӯнамоӣ мекунад.

Дар расми 5 тасвири графикаи натиҷаи амалкарди компютери амсилаи математикии $M(t) = M_0 + (M_D - M_0) \cdot (1 - e^{-\ell_2 t})$, ки параметри ℓ_2 бо ёрии формулаи $\ell_2 = -\frac{1}{t_{max}} \cdot \ln \frac{M_D - M_{max}}{M_D - M_0}$ ($\ell_2 \approx 0,01320$) ҳисоб карда шудааст, барои қиматҳои таҷрибавии зерини вазни зиндаи мурғи марҷони зоти

сафеди синапахн [6; 13]: $M_0 = 0,0582$; $M_{max} = 8,98$; $M_D = 9,02$ дар фосилаи вақти парвариши $1 \leq t \leq 410$ инъикос ёфтааст.



Расми 5 – Графики амсилаи математикии логистикӣ оид ба афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷон

Таҳлили қиёсии амсилаҳо. Ҳадафи таҳлили қиёсӣ ба муайян кардани амсилае равона шудааст, ки он динамикаи биологии афзоиши вазни мурғи марҷонро беҳтар тавсиф мекунад ва барои пешгӯии раванди вазнгирӣ бештар мувофиқ аст. Бо ин мақсад, мо дар қадами навбатии таҳқиқот барои аз байни панҷ амсилаи математикии баррасишудаи хаттӣ, дараҷавӣ ($r = 0,5$ ва $r = 2$), экспоненсиалӣ ва логистикӣ, ки маҳз онҳо барои тасвир ва пешгӯии раванди афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷон интихоб шудаанд, бо истифода аз усули таҳлили қиёсии математикию биологӣ амсилаи беҳтарини таҳқиқотиро муайян кардем. Таҳлили қиёсии байни амсилаҳо зимни $t_0 \leq t \leq t_{max}$, $M_0 = M(t_0)$, $M_{max} = M(t_{max})$, дар асоси маълумоти таҷрибавӣ оид ба мурғи марҷони зоти сафеди синапахн гузаронида шудааст [6; 13]: $t_0 = 1$; $t_{max} = 410$; $M_0 = 0,0582$; $M_{max} = 8,98$; $M_D = 9,02$.

Меъёрҳои муқоиса барои татбиқшавандагии амсилаҳои таҳқиқотӣ тибқи хосиятҳои математикӣ ва биологии зерини онҳо муайян карда шудааст:

- *хосиятҳои математикӣ*: мавҷудияти асимптотҳои наздикшавии вазни зинда, монотонӣ будан ё набудани функсияи амсилавӣ, мавҷудияти нуқтаи қатшавӣ дар қатъаттаи графики функсия, мувофиқати байни натиҷаҳои амсилавӣ ва таҷрибавӣ ($M(t_0) = M_0$, $M(t_{max}) = M_{max}$) дар ибтидо ва интиҳои марҳилаи парвариш ($t = t_0$; $t = t_{max}$), устувории амсила ба экстраполятсия;

- *хосиятҳои биологӣ*: мавҷудияти фазаҳои афзоиши вазни зинда (барвақт → шадид → сустшавӣ) дар қатъаттаи графики функсия, сершавии физиологӣ ё ба балоғат расидани индивид ($M(t) \rightarrow M_D$; ҳангоми $t \rightarrow \infty$, $\frac{dM}{dt} \rightarrow 0$; пас аз нуқтаи қатшавии график ивазшавии афзоиши суръатнок ба суст), имконияти тафсиршавандагии параметрҳои амсила, мувофиқати амсила барои пешгӯии вазни зинда дар охири марҳилаи парвариш ва ғайра.

Таҳлили амсилаи хаттии $M(t) = M_0 + (M_{max} - M_0) \cdot \frac{t}{t_{max}}$ аз рӯи графики он (расми 1):

Аз нуқтаи назари математикӣ ва мувофиқи хосиятҳои функсияи мазкур суръати афзоиши вазни зинда дар тамоми марҳилаи парвариш бузургии доимӣ мебошад: $\frac{dM}{dt} = \frac{M_{max} - M_0}{t_{max}} = \frac{8,9218}{410} \approx 0,0218 \frac{\text{кг}}{\text{шб}}$. Дар графики он нуқтаи қатшавӣ вучуд надорад. Барои наздикшавии вазни зинда ба вазни максималӣ асимптота муайян карда нашудааст.

Аз ҷиҳати биологӣ афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷон дар масири марҳилаи парвариш номунтазам тақсим шудааст, ки аз номувофиқатии амсилаи математикии мазкур барои ҳалли масъалаи таҳқиқотӣ дарак медиҳад.

$$\text{Таҳлили амсилаи дараҷавии } M(t) = M_0 + (M_{\max} - M_0) \cdot \left(\frac{t}{t_{\max}}\right)^{0,5}:$$

Мувофиқи қачхаттаи графики функсияи дараҷавӣ (расми 2), дар ҳолати $r = 0,5$ будан, вазни зиндаи амсилавии мурғи марҷон дар ибтидои марҳилаи парвариш $t = t_0$ дорои оғози суръатнок $\left[\frac{dM}{dt} = \frac{M_{\max} - M_0}{2\sqrt{t_{\max}}} t^{-0,5}\right]$, дар мобайни марҳила – суръати пастшаванда, дар интиҳои марҳила дорои «норасоии сершавии физиологӣ» мебошад. Қачхаттаи график ҳамеша ба поён фуруҳаида аст, он нуқтаи қатшавӣ надорад. Гарчанде қисман тамоюли рушди барвақтии вазни зиндаро инъикос намоёнд ҳам, вале он на дар тамоми масири қачхатта ба чашм мерасад.

$$\text{Таҳлили амсилаи дараҷавии } M(t) = M_0 + (M_{\max} - M_0) \cdot \left(\frac{t}{t_{\max}}\right)^2:$$

Мувофиқи хосиятҳои амсилаи дараҷавӣ, дар ҳолати $r = 2$ будан, суръати афзоиши вазни зинда $\frac{dM}{dt} = 2(M_{\max} - M_0) \frac{t}{t_{\max}^2}$ дар тамоми марҳилаи парвариш фақат меафзояд. Дар қачхаттаи графики функсия (расми 3) нуқтаи қатшавӣ дида намешавад, оғози афзоиши вазни зинда бисёр суз сурат гирифта, тезшавии суръати афзоиш дар охири марҳилаи парвариш ба вучуд омадааст. Наздикшавии вазни зинда ба ҳадди максималии вазн ба чашм намерасад. Ҳамаи ин далелҳо аз он гувоҳӣ медиҳанд, ки амсилаи математикии дараҷавӣ ($r = 2$) барои ҳалли масъалаи таҳқиқотӣ мувофиқ намебошад.

$$\text{Таҳлили амсилаи экспоненсиалии } M(t) = M_0 \cdot e^{\ell_1 t}, \ell_1 = \frac{1}{t_{\max}} \cdot \ln \frac{1}{M_0}:$$

Аз тасвири графики қачхаттаи функсияи мазкур (расми 4) дида мешавад, ки дар ин маврид афзоиши амсилавии вазни зиндаи мурғи марҷон бидуни ягон маҳдудият боло рафтааст, нуқтаи қатшавӣ дида намешавад. Дар интиҳои марҳилаи парвариш, вазни синнусолии мурғи марҷон аз ҳад зиёд арзёбӣ гаштааст. Аммо ин гуна тамоюлот, дар муҳити воқеии табиӣ барои вазнгирии мурғи марҷон аз ҷиҳати биологӣ ғайриимкон мебошад.

Таҳлили математикии амсила низ нишон дод, ки зимни $\ell_1 = \frac{1}{t_{\max}} \cdot \ln \frac{1}{M_0} \approx \frac{\ln(17,18)}{410} \approx 0,007$ будан, суръати афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷон $\frac{dM}{dt} = \ell_1 M(t)$ аст, ки ин бори дигар ба таври экспоненсиалӣ зиёд шудани вазни зиндаро собит месозад.

$$\begin{array}{llll} \text{Таҳлили} & \text{амсилаи} & \text{логистикӣ} & M(t) = M_0 + (M_D - M_0) \cdot (1 - e^{-\ell_2 t}), \\ \ell_2 = -\frac{1}{t_{\max}} \cdot \ln \frac{M_D - M_{\max}}{M_D - M_0} & & & \end{array}$$

Мувофиқи иттилооти графики амсилаи мазкур қачхаттаи он s-шакли нопурра (расми 5) буда, вазни зиндаи амсилавии мурғи марҷон пас аз нимаи дуҷуми марҳилаи парвариш ба таври асимптотикӣ ба қимати M_D наздик мешавад. Графики функсияи логистикӣ дорои нуқтаи қатшавӣ мебошад.

Дар амсилаи логистикӣ $M(t) = M_0 + (M_D - M_0) \cdot (1 - e^{-\ell_2 t})$, ки параметри ℓ_2 бо ёрии формулаи $\ell_2 = -\frac{1}{t_{\max}} \cdot \ln \frac{M_D - M_{\max}}{M_D - M_0}$ ҳисоб карда мешавад, «доимии интегралӣ суръати афзоиши биологӣ» ном дорад. Дар амсила параметри мазкур муайян мекунад, ки узви экспоненсиалии он то кадом андоза зуд коҳиш меёбад. Он инчунин, суръати афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷонро назорат мекунад, ки вазн то кадом андоза ба асимптотҳои худ M_D наздик мешавад. Ин параметр ба мавқеи ҷойгиршавии нуқтаи қатшавии графики функсия ва бузургии афзоиши максималии вазни зинда низ таъсир мерасонад.

Ҳоло пай дар пай қимати параметри ℓ_2 -ро ҳисоб мекунем: $\frac{M_D - M_{\max}}{M_D - M_0} = \frac{9,02 - 8,98}{9,02 - 0,0582} = \frac{0,12}{8,9618} = 0,0134$; $\ln(0,0134) \approx -4,3125$; $\ell_2 = -\frac{1}{410} \cdot \ln(0,0134) \approx -0,002439 \cdot (-4,3125) \approx 0,010518 \frac{1}{\text{шб}}.$

Мавқеи нуқтаи қатшавии графикаи функсия барои логистика чунин ёфта мешавад:

$$t_{\text{кат}} = \frac{\ln(2)}{\ell_2} \approx \frac{0,693147}{0,010518} \approx 65,901 \text{ шб}$$
 (яъне мавқеи нуқтаи қатшавӣ тақрибан ба рӯзҳои 66-70-уми марҳилаи парвариш рост меояд).

Суръати максималии афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷон бо чунин тарз ҳисоб карда мешавад:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{(M_D - M_0) \cdot \ell_2}{4} \approx \frac{8,9618 \cdot 0,010518}{4} \approx 0,02356 \frac{\text{кг}}{\text{шб}}.$$

Таҳлилҳои биологӣ ва қатъаттаи графикаи функсияи логистикӣ (расми 5) низ собит месозанд, ки амсила фазаҳои афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷонро дуруст муайян мекунад. Аммо, мутаассифона, қатъаттаи график нисбат ба тири вақт t симметрии ҷойгир шудааст. Ваҷҳи мазкур аз он далолат медиҳад, ки амсила онтогенези воқеии мурғи марҷонро дуруст инъикос карда наметавонад.

Ҳамин тариқ, таҳлилҳои муқоисавии математикӣ ва биологӣ нишон доданд, ки амсилаҳои хаттӣ, дараҷавӣ ($r = 0,5$; $r = 2$) ва экспоненсиалӣ талаботи биологӣ тасвир ва тавсифи афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷонро қонеъ намекунанд. Ягона амсилае, ки сершавии физиологӣ ва марҳилаҳои алоҳидаи афзоиши вазни зиндари ба қадри имкон дуруст инъикос карда метавонад, функсияи логистикӣ мебошад. Аз ин рӯ, дар байни панҷ амсилаи баррасишуда амсилаи логистикӣ афзори таҳқиқотии мувофиқтарин ҳисоб карда шудааст.

Хулосаҳо

Дар рафти таҳқиқот маълум гардид, ки бо истифода аз усули таҳлили муқоисавӣ аз байни якчанд амсилаи математикӣ додашуда амсилаи мувофиқтаринро барои тасвир ва пешгӯии раванди афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷон муайян кардан мумкин аст. Дурустии ин нуктаро таҳлилҳои математикӣ ва биологӣ баргузоршуда тасдиқ намуданд.

Таҳлилҳо нишон доданд, ки амсилаҳои хаттӣ, дараҷавӣ ($r = 0,5$; $r = 2$) ва экспоненсиалӣ талаботи биологӣ тавсифи афзоиши вазни зиндаи мурғи марҷонро қонеъ намекунанд. Ягона амсилае, ки раванди сершавии физиологӣ ва марҳилаҳои алоҳидаи кинетикаи афзоиши вазни зиндари дуруст инъикос карда метавонад ва графикаи нуқтаи қатшавӣ дорад, функсияи логистикӣ мебошад. Графикаи дигар амсилаҳо ё нуқтаи қатшавӣ надоранд ё динамикаи нодурусти биологиро пешниҳод мекунанд. Бинобар ин, дар байни панҷ амсилаи баррасишуда амсилаи логистикӣ беҳтарин афзори таҳқиқотӣ доништа шудааст.

Муҳаррир: Ҷалолов У.Х. – н.и.т., дотсенти кафедраи АРПВН-и ДЭПН баноми акадeмик М.С. Осимӣ.

Адабиёт

1. Prasad, Shiv. Mathematical model for annual egg production curves of chicken [Text] / Shiv Prasad, D.P. Singh // Indian Journal of Poultry Science. – 2008. – Vol. 43. – No. 3. – P. 293-295.
2. Комилиён, Ф. С. Амсиласозии компютери ҳаёти гулмоҳӣ дар бассейни [Матн] / Ф.С. Комилиён, Ф.Т. Шамсов. – Душанбе: Ирфон, 2021. – 140 с. – EDN: IPOOTB.
3. Кучер, Е. А. Математическое моделирование динамики роста и продуктивности кур кроссов «Хайсекс браун» и «Ломанн браун» [Текст] / Е.А. Кучер, М.В. Пасечник // Технологический аудит и резервы производства. – 2016. – № 4/2 (30). – С. 38-44. – DOI: 10.15587/2312-8372.2016.72833.
4. Менишуткин, В. В. Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция) / В.В. Менишуткин. – СПб.: «Петрозаводск», 2010. – 416 с.
5. Комилиён, Ф. С. Мутобиқгардонии амсилаи математикӣ Мак-Миллан барои таҳқиқи сатҳи сертухмии мурғи марҷон [Матн] / Ф.С. Комилиён, Д.И. Солиҳзода, И.М. Саидзода // Илм ва инноватсия. Бахши илмҳои геологӣ ва техникӣ. – 2025. – № 2. – С. 137-146. – EDN: IAOORT.
6. Солиҳзода, Д. И. Асосҳои биологӣ ва иқтисодии амсиласозии популятсияи мурғи марҷон [Матн] / Д.И. Солиҳзода // Паёми донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ. – 2024. – № 4 (24). – С. 218-227. – EDN: SBVHXV.
7. Комилиён, Ф. С. Технологияҳои амсиласозии марҳилаҳои ҳаёти популятсияи мурғи марҷон [Матн] / Ф.С. Комилиён, Д.И. Солиҳзода // Фурӯғи илм. – 2024. – № 3. – С. 32-40. – EDN: KQSOZL.
8. Воинов, А. А. Моделирование экосистемы водохранилищ реки Вахш [Текст] / А.А. Воинов, Ф.С. Комилов. – Душанбе: ТаджикНИИТИ, 1985. – 39 с. – EDN: HPLRRU.
9. Зайнудинов, С. З. Разработка концептуальной модели экосистемы рыбоводного пруда и её исследование на качественную устойчивость [Текст] / С.З. Зайнудинов, Ф.С. Комилов, С.Х. Мирзоев, Ф. Ақобирзода // Интерактивная наука. – 2016. – № 4. – С. 18-22. – EDN: WACTZB.

10. *Комилиён, Ф. С.* Мушкилоти амсиласозии математикӣ ва компютерии экосистемаҳои маҳзанҳои обӣ дар Тоҷикистон ва арзёбии динамикаи захираҳои биологии онҳо [Матн] / Ф.С. Комилиён // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои иҷтимоӣ-иқтисодӣ ва ҷамъиятӣ. – 2023. – № S4-1. – С. 98-118. – EDN: TWXPOJ.

11. *Комилов, Ф. С.* Выбор функции роста форели рыболовной бассейновой системы для математического моделирования её отдельного этапа жизненного цикла [Текст] / Ф.С. Комилов, Ф.Т. Шамсов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 1 (45). – С. 37-42. – EDN: WJECML.

12. *Саидзода, И. М.* Барномасозии компютерии фаъолияти занбӯри асал вобаста ба таъсири бемориҳо ва зараррасонҳо [Матн] / И.М. Саидзода, Ф.С. Комилиён // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – 2024. – № 1. – С. 13-27. – EDN: PMYJCS.

13. *Бобозода, О. С.* Омӯзиши муқоисавии сифатҳои маҳсулнокии мурғи марҷони зоти сафеди қафаси синапахм ва популятсияҳои маҳаллӣ дар шароити Ҷануби Тоҷикистон [Захираи электронӣ] // <http://vakroygohi.dodaho.tj/koa/dissertatsiya/display.php> (Санаи мурочиат: 27.12.22).

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

TJ	RU	EN
Комилиён Файзали Саъдулло	Комилиён Файзали Саъдулло	Komiliyon Fayzali Sa'dullo
д.и.ф.-м., профессор	д.ф.-м.н., профессор	Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: komfaiz@mail.ru		
ORCID: 0000-0002-1490-7848		
TJ	RU	EN
Солихзода Диловари Имомали	Солихзода Диловари Имомали	Solihzoda Dilovari Imomali
-	-	-
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: dilo1991dil@mail.ru		
ORCID: 0000-0003-3036-6882		

ТАҲҲИЯИ МОДЕЛ ВА ТАҲЛИЛИ НИЗОМИ ХАТСАЙРҲОИ НАҚЛИЁТИ ЧАМЪИЯТИИ ШАҲРИ ДУШАНБЕ

А.А. Қосимов, Ш.С. Саидов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Мақолаи мазкур ба таҳлили ҷараёни мусофиркашонӣ барои шабакаи нақлиёти ҷамъиятии шаҳри Душанбе бахшида шудааст. Тадқиқот 70 хатсайро барои воситаҳои нақлиёти ҷамъиятӣ аз қабili автобус, троллейбус ва микроавтобус фаро гирифта, дар асоси маълумоти беш аз 4000 ҷадвали мушоҳидавӣ анҷом дода шудааст. Дар мақола модели математикӣ ва матритсавии тақсимои мусофирон дар истгоҳҳо ва интервалҳои вақт пешниҳод гардида, нишондиҳандаҳои асосӣ ба монанди коэффисиенти истифодаи ғунҷоиш (КИҒ), ивазшавии мусофирон (КИ), номунтазамии ҷараён (КН), масофаи миёнаи тайкардаи мусофир дар як гардиш (ММТГ), қимати миёнаи пуршавӣ дар як гардиш (ҚПГ) ҳисоб карда шудаанд, [2,3]. Натиҷаҳои таҳлил имкон медиҳанд, ки хатсайрҳои пурсамар ва камсамар муайян карда шуда, барои оптимизатсияи ҷадвали ҳаракат ва беҳтар кардани сифати хизматрасонӣ тавсияҳои илмӣ дода шаванд.

Калимаҳои калидӣ: ҷараёни мусофирон, нақлиёти ҷамъиятӣ, шаҳри Душанбе, модели математикӣ, коэффисиенти истифодаи ғунҷоиш, истгоҳҳои нақлиётӣ, оптимизатсияи хатсайрҳо, соатҳои пуришддат, мониторинги визуалӣ.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АНАЛИЗ СИСТЕМЫ МАРШРУТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДА ДУШАНБЕ

А.А. Косимов, Ш.С. Саидов

Данная статья посвящена анализу пассажиропотока в сети общественного транспорта города Душанбе. Исследование охватывает 70 маршрутов общественного транспорта, таких как автобусы, троллейбусы и микроавтобусы, и проведено на основе данных более чем 4000 наблюдательных листов. В статье представлена математическая и матричная модель распределения пассажиров по остановкам и временным интервалам, а также рассчитаны основные показатели, такие как коэффициент использования вместимости (КИВ), сменяемость пассажиров (КСП), неравномерность потока (КН), средняя дистанция поездки пассажира за один оборот (СДП), средняя величина наполнения за один оборот (СВН) [2,3]. Результаты анализа позволяют определить эффективные и малоэффективные маршруты, а также дать научные рекомендации по оптимизации графика движения и повышению качества обслуживания.

Ключевые слова: пассажиропоток, общественный транспорт, город Душанбе, математическая модель, коэффициент использования вместимости, транспортные остановки, оптимизация маршрутов, часы пик, визуальный мониторинг.

DEVELOPMENT OF A MODEL AND ANALYSIS OF THE PUBLIC TRANSPORT ROUTE SYSTEM IN DUSHANBE

A.A. Kosimov, Sh.S. Saidov

This article is dedicated to the analysis of passenger flows within the public transport network of Dushanbe. The study covers 70 public transport routes, including buses, trolleybuses, and minibuses, and was conducted based on data from more than 4000 observation logs. The article presents a mathematical and matrix model for passenger distribution across stops and time intervals. Key performance indicators were calculated, such as the capacity utilization coefficient (CUC), passenger turnover rate (PTR), flow irregularity (FI), average passenger trip distance per cycle (APD), and average load value per cycle (ALV) [2,3]. The analysis results enable the identification of both efficient and inefficient routes, providing scientific recommendations for schedule optimization and service quality enhancement.

Keywords: passenger flow, public transport, Dushanbe city, mathematical model, capacity utilization coefficient, transport stops, route optimization, peak hours, visual monitoring.

Муқаддима

Таҳлили маълумот дар бораи хатсайрҳои кумуналии автобусҳо, троллейбусҳо ва хатсайрҳои микроавтобусҳо бо мақсад муайян кардани хатсайрҳои камсамар, соатҳои пуришддат ва камшиддат, пешниҳоди тавсияҳо барои беҳтар кардани хизматрасонӣ ба мусофирон мебошад, [4,6].

Маълумотҳои 70 хатсайрҳои шаҳри Душанбе аз ҷумла 23 хатсайрҳои кумуналии автобус, 7 хатсайрҳои кумуналии троллейбус ва 40 хатсайрҳои микроавтобус дар 4364 ҷадвалҳои эксел бо усули визуалӣ барои тадқиқи ҷараёни мусофиркашонӣ, тавассути мушоҳидаҳои ҷамъоварӣ карда шудаанд. Ин мушоҳидаҳо дар истгоҳҳо гузаронида шудаанд, ки намунаи он дар ҷадвали 1 барои самтҳои мустақим ва баръакс оварда шудааст. Бо ёрии ин мушоҳидаҳои дараҷаи пурии воситаҳои нақлиёт, шумораи мусофирони воридшаванда ва хоричшаванда дар истгоҳҳо муайян карда шудаанд.

Тадқиқот барои ҳар як хатсайр дар муддати як ҳафта бо фарогирии 30% аз шумораи умумии гардишҳо гузаронида шуда, ба рӯзҳои корӣ ва истироҳатӣ гурӯҳбандӣ карда шуда, қимати миёна барои як рӯзи корӣ ва истироҳатӣ дар алоҳидаги ҳисоб карда шудааст. Ин усули муайянкунӣ имкон медиҳад, ки маълумот дар бораи пурии воситаҳои нақлиёт ва мунтазамии ҳаракати онҳо дар қитъаҳои хатсайр, самтҳо ва соатҳои шабонарӯз ба даст оварда шавад.

Бо мақсади муайян кардани хусусиятҳои пурра ва муфассали тақсимои ҷараёни мусофиркашонӣ, маълумоти бадастомада аз рӯи хатсайрҳо коркард шуда, тибқи соатҳои шабонарӯз ва дар маҷмӯъ дар тамоми шабакаи нақлиётӣ таҳлил карда шудаанд. Масофаи миёнаи сафари мусофирон низ муайян карда шудааст.

Ҷараёни мусофирон – ин шумораи мусофирони интиқолёфта дар як самти муайян дар давоми як давраи муайяни вақт мебошад. Ҷараёни мусофирон бо шумораи мусофирони интиқолёфта тавсиф карда мешавад. Ҷараёни мусофирон вобаста ба самтҳо, соатҳои шабонарӯз, фаслҳои сол ва рӯзҳои ҳафта тағйир меёбад, [7, 9].

Модели математикӣ барои ҳисобкунии ҷараёни мусофирон ва нишондиҳандаҳои нақлиётӣ

Хатсайрҳои нақлиётӣ аз шумораи муайяни истгоҳҳо иборат аст – N истгоҳ. Барои ҳар як истгоҳ $i \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ нишондиҳандаҳои зерин муайян карда мешаванд:

E_i – шумораи мусофирони воридшуда дар истгоҳи i ;

L_i – шумораи мусофирони хориҷшуда дар истгоҳи i ;

T_i – лаҳзаи вақти расидан ба истгоҳи i ;

P_i – ҷараёни мусофирон то истгоҳи i ;

N – шумораи истгоҳҳо.

Қадами вақт байни истгоҳҳо – $\Delta t = (t_n - t_0) / (N - 1)$.

Муайянсозии лаҳзаҳои вақти расидан ба истгоҳҳо:

$T_0 = t_0$;

$T_i = T_{i-1} + \Delta t, \forall i \in \{1, \dots, N-1\}$.

Ҳисобкунии ҷараёни мусофирон:

$P_0 = E_0$;

$P_i = P_{i-1} + E_i - L_i, \forall i \in \{1, \dots, N-1\}$.

Барои таҳлили ҷараёнҳои мусофиркашонӣ дар системаи нақлиёти шахрӣ зарур аст муайян кард, ки чӣ гуна мусофирони воридшаванда ва хориҷшаванда аз рӯи интервалҳои вақт ва истгоҳҳо тағйир меёбанд. Дар ин тадқиқот се матритсаи асосӣ бо андозаи $24 \times N$ истифода шудаанд, ки дар он 24 – шумораи интервалҳои соат дар як шабонарӯз, ва N – шумораи истгоҳҳои хатсайр мебошад. дар ин ҷо:

$E = \{e_{i,j}\}$ — матритсаи мусофирони воридшаванда;

$X = \{x_{i,j}\}$ — матритсаи мусофирони хориҷшаванда;

$N = \{n_{i,j}\}$ — матритсаи пуршавии дохили нақлиёт.

Ҳар як унсури $e_{i,j}$ нишон медиҳад, ки чанд мусофир дар соати i дар истгоҳи j ворид шудаанд. Ба ҳамин монанд, $x_{i,j}$ ва $n_{i,j}$ шумораи мусофирони хориҷшуда ва шумораи воқеии мусофирон дар дохили нақлиётро нишон медиҳанд.

Барои таҳлили маълумот нишондиҳандаҳои ҷамъшуда ҷорӣ мегарданд – суммаҳо аз рӯи сатрҳо (интервалҳои вақт, $i = 1, \dots, 24$) ва сутунҳо (истгоҳҳо, $j = 1, \dots, N$):

$S_i^X = \sum x_{i,j}$ – ҷамъи мусофирони хориҷшуда аз рӯи соатҳо;

$C_j^X = \sum x_{i,j}$ – ҷамъи мусофирони хориҷшуда аз рӯи истгоҳҳо;

$S_i^E = \sum e_{i,j}$ – ҷамъи мусофирони воридшуда аз рӯи соатҳо;

$C_j^E = \sum e_{i,j}$ – ҷамъи мусофирони воридшуда аз рӯи истгоҳҳо;

$S_i^N = \sum n_{i,j}$ – ҷамъи мусофирон дар дохили нақлиёт аз рӯи соатҳо;

$C_j^N = \sum n_{i,j}$ – ҷамъи мусофирон дар дохили нақлиёт аз рӯи истгоҳҳо.

Дар татбиқи барномавӣ суммаҳои дар боло зикршуда бо истифода аз такрори дуиндексӣ аз рӯи вақт (i) ва истгоҳ (j) ҳисоб карда мешаванд. Барои ҳар як матритса массивҳои мувофиқ барои ҷамъи сатрҳо ва сутунҳо ҳисоб карда мешаванд. Ин равиш заминаи таҳлили динамикаи ҷараёни

мусофиркашонӣ аз рӯи вақт ва истгоҳҳо буда, имконият медиҳад, ки оптимизатсияи минбаъдаи хатсайрҳо гузаронида шавад.

Нишондиҳандаҳои ҷамъшуда имконият медиҳанд:

- муайян кардани истгоҳҳо бо шумораи зиёди воридшавӣ ва хориҷшавӣ мусофирон дар хатсайрҳо;
- муайян кардани соатҳои зиёдшавии ҷараёни мусофирон дар хатсайрҳо;
- муайян кардани қисмҳои камсамараноки хатсайрҳо;
- истифодаи маълумот барои тавсияҳо оид ба бозтақсимкунии воситаҳои нақлиёт, тағйир ва оптимизатсияи ҷадвали ҳаракат ва хатсайрҳо.

Барои таҳлили хатсайрҳои формулаҳои зирин истифода бурда шудаанд. Пуршавии воситаи нақлиёт дар қитъаи роҳ бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$Q_{\text{ҒН}} = q_{\text{ҒН}} + q_{\text{д}} - q_{\text{б}};$$

дар ин ҷо:

$q_{\text{ҒН}}$ – шумораи мусофироне, ки дар қитъаи байни ду истгоҳ ($i-1$) ҳаракат мекунад;

$q_{\text{д}}$ – шумораи мусофироне, ки дар истгоҳи i ба нақлиёт савор мешаванд;

$q_{\text{б}}$ – шумораи мусофироне, ки дар истгоҳи i мефароянд, [8].

Коэффисиенти ивазшавии (КИ) мусофирон ҳамчун нисбати дарозии хатсайр ба масофаи миёнаи сафар муайян карда мешавад:

$$\eta_{\text{ив}} = \frac{l_{\text{х}}}{l_{\text{м}}};$$

дар ин ҷо:

$l_{\text{х}}$ – дарозии хатсайр, км;

$l_{\text{м}}$ – масофаи миёнаи сафари мусофир.

Коэффисиенти истифодаи ғунҷоиши воситаи нақлиёт (КИҒ):

$$\gamma = \frac{Q_{\text{г}}}{q_{\text{г}} * z_{\text{г}} * \eta_{\text{ив}}},$$

дар ин ҷо:

$Q_{\text{г}}$ – шумораи мусофирони интиқолёфта дар як гардиш, нафар;

$q_{\text{г}}$ – ғунҷоиши номиналии воситаи нақлиёт, нафар;

$z_{\text{г}}$ – шумораи гардишҳо дар як рӯз;

$\eta_{\text{ив}}$ – коэффисиенти ивазшавии мусофирон дар як гардиш.

Яке аз нишондиҳандаҳои муҳимтарини сифати хизматрасонии нақлиётӣ ба мусофирон коэффисиенти истифодаи ғунҷоиши воситаҳои нақлиёт мебошад. Ин коэффисиент бевосита ба самаранокии иқтисодии фаъолияти ташкилоти нақлиётӣ таъсир мерасонад. Ширкати ҳамлу нақл манфиатдор аст, ки коэффисиенти истифодаи ғунҷоиш ҳарчи бештар бошад, аммо барои мусофир, баръакс, хизматрасонӣ бе сербории воситаҳои нақлиёт афзалтар аст. Вобаста ба шароити истифодабарӣ, коэффисиенти истифодаи ғунҷоиш дар ҳудуди аз 0.2 то 0.4 тағйир меёбад аммо дар соатҳои серодам барои қитъаҳои сербори хатсайрҳо зарур аст, ки ин нишондиҳанда дар ҳудуди 0.7 то 0.8 пешбинӣ шавад, [52].

КН-и ҷараёни мусофиркашонӣ:

$$K_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{м}}};$$

дар ин ҷо:

Q_{max} – ҷараёни максималии мусофирон дар қитъа;

$Q_{\text{м}}$ – ҷараёни миёнаи мусофирон.

Барои шаҳрҳои миёна, КН-и ҷараёни мусофиркашонӣ тибқи соатҳои шабонарӯз дар ҳудуди 1.5 то 2 мебошад.¹

¹ Кузбасский государственный технический университет, <https://studfile.net/preview/7845442/page:3/>

Ҷадвали 1 – Формаи баҳисобгирии мусофирон дар самти мустақим

Са на	04.11. 2023		рӯзи ҳафта	шан бе	Хатсайри 3А : Терминали Чорбоғ - Истгоҳи вокзали роҳи оҳан										
Воситаи нақлиёт-		Авт обус		Там ға	Аки а	гара жн. №	6807	Баст	2	№ баро мада	1				
№				Гардиш 1		Гардиш 2		Гардиш 3		Гардиш 4		Гардиш 5		Ҳамагӣ	
	Номгӯи истгоҳҳо		Накша аз руи график	13:39		15:14		15:14		0:00		0:00			
				14:18		16:10		16:10		0:00		0:00			
				13:40		15:45		18:00		0:00		0:00			
				14:25	16:40		18:50		0:00		0:00				
				баро мад	даро мад	баро мад	даро мад	баро мад	даро мад	баро мад	даро мад	баро мад	даро мад	баро мад	даро мад
1	истгоҳи терминали чорбоғ			0	1	0	6	0	2	0	0	0	0	0	9
2	истгоҳи ошхонаи “саид”			0	6	0	4	0	0	0	0	0	0	0	10
3	истгоҳи корхонаи сементбарорӣ			0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
4	истгоҳи ҳсп “оби зулол”			0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	истгоҳи боғи с.айнӣ			0	1	2	1	2	2	0	0	0	0	4	4
6	истгоҳи обанбор			1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6
7	истгоҳи майдони сарҳадчиён			4	5	3	4	3	2	0	0	0	0	10	11
8	истгоҳи донишгоҳи аграрӣ			0	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8
9	истгоҳи шимолӣ			0	10	4	5	2	3	0	0	0	0	6	18
10	истгоҳи донишгоҳи тиббӣ			0	2	1	4	0	2	0	0	0	0	1	8
11	истгоҳи донишгоҳи омузгори			2	9	1	3	0	2	0	0	0	0	3	14
12	истгоҳи меҳмонхонаи авесто			0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3
13	истгоҳи чойхонаи роҳат			1	1	3	4	2	3	0	0	0	0	6	8
14	истгоҳи ме “тоҷикистон			4	2	1	2	1	1	0	0	0	0	6	5
15	истгоҳи боғи устод а.рудакӣ			0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	3
16	истгоҳи тв “сафина”			11	1	7	3	4	3	0	0	0	0	22	7
17	истгоҳи бонки милли			4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	6	1
18	истгоҳи синамои ватан			9	0	8	1	3	0	0	0	0	0	20	1
19	истгоҳи роҳи оҳан			19	0	8	0	5	0	0	0	0	0	32	0
				55	55	41	41	22	22	0	0	0	0	118	118

Ҳисоб кардани ҷараёнҳои умумии мусофирон дар интервали вақт ва истгоҳҳо дар хатсайрҳои шаҳри Душанбе

Ҷадвали 2 – Ҷараёни мусофирон дар интервали вақт ва истгоҳҳо барои хатсайри автобуси 3 дар самти мустақим

Интервал вақт	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Пуршавӣ
истгоҳи терминали чорбоғ	0	4	2	7	0	3	4	4	2	9	2	4	2	4	1	0	0	0	48
истгоҳи маром	1	6	4	16	0	6	8	8	6	17	5	7	7	6	3	0	1	0	101
истгоҳи корхонаи сементбарорӣ	1	6	6	16	0	5	8	11	7	17	7	8	8	4	5	0	1	0	110
истгоҳи ҶСП “Оби зулол”	1	7	6	19	0	6	9	10	9	18	10	12	8	4	5	0	1	0	125
истгоҳи боғи с.айнӣ	1	7	6	15	5	5	6	14	5	26	12	13	9	5	5	0	1	0	135
истгоҳи чашмасор	0	8	7	18	5	7	7	15	5	29	14	18	10	5	6	0	1	0	155
истгоҳи майдони сарҳадчиён	0	12	6	19	5	9	9	20	5	36	12	21	10	7	13	1	1	0	186
истгоҳи донишгоҳи аграрӣ	0	15	7	13	10	9	10	21	4	36	13	30	14	8	14	2	1	0	207
истгоҳи шимоли	0	16	6	14	13	10	13	22	4	37	15	31	13	10	15	2	1	0	222
истгоҳи донишгоҳи тиббӣ	0	13	12	13	12	10	17	25	8	43	21	41	15	10	17	2	1	0	260
истгоҳи донишгоҳи омӯзгорӣ	0	14	11	15	12	8	19	26	9	48	28	51	10	21	19	2	1	0	294
истгоҳи меҳмонхонаи авесто	0	16	12	11	17	8	20	28	11	50	29	41	26	21	20	2	1	1	314
чайхонаи роҳат	0	3	19	15	16	9	19	26	10	39	42	41	25	20	22	2	1	2	311
истгоҳи маркази савдои “Тоҷикистон”	0	3	18	15	17	9	18	25	11	34	43	42	25	23	22	3	2	2	312
истгоҳи боғи устод а.рудакӣ	0	3	17	5	25	9	17	24	10	32	43	36	30	22	26	3	2	1	305
истгоҳи ТВ “Сафина”	0	2	14	4	19	9	15	20	8	28	40	35	20	25	19	3	2	1	264
истгоҳи “Бонки милли”	0	1	13	2	16	6	13	19	0	29	26	39	16	18	15	5	2	1	221
истгоҳи “Синамои ватан”	0	0	8	1	11	3	7	12	0	16	19	29	8	9	10	2	1	0	136
истгоҳи роҳи оҳан	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	2	0	0	0	0	7
	4	136	174	218	183	131	219	330	114	544	382	503	256	224	237	29	21	8	

Дар чадвали 2 намунаи ҳисобкунии ҷараёни мусофирон дар интервали вақт ва истгоҳҳо барои хатсайри автобуси 3 дар самти мустақим оварда шудааст. Ба монанди хатсайри автобуси 3, 70 хатсайр барои самтҳои мустақим ва баръакс ҳисоб ва таҳлил карда шудаанд.

Таҳлили хатсайрҳои шаҳри Душанбе дар рӯзҳои корӣ

Самаранокии истифодаи воситаҳои нақлиёт:

- самаранокии баланд – хатсайрҳое, ки $KIF \geq 0.5$ мебошанд, самаранок истифода бурда мешаванд;

- самаранокии миёна – хатсайрҳое, ки $0.5 > KIF \geq 0.2$ мебошанд, дараҷаи миёнаи самаранокӣ доранд.

Коэффитсиенти ивазшавӣ ($\eta_{ив}$):

• самаранокии баланд – дар хатсайрҳое, ки $KI \geq 2$ бошад, мусофирон масофаи кӯтоҳи дарозии хатсайро истифода мебаранд ва коэффитсиенти ивазшавӣ мусофирон баланд аст;

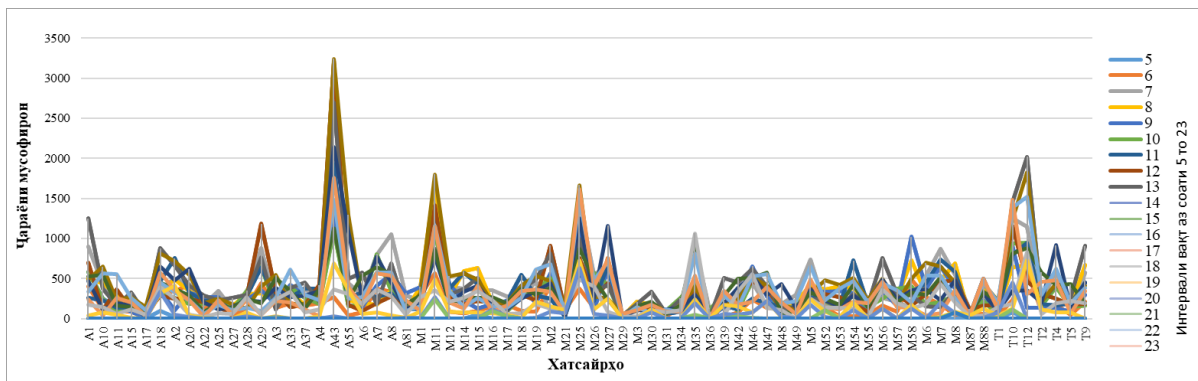
• самаранокии миёна – дар хатсайрҳое, ки $KI < 2$ бошад, мусофирон масофаи миёнаи дарозии хатсайро истифода мебаранд ва коэффитсиенти ивазшавии мусофирон миёна аст.

КН-и ҷараёни мусофиркашонӣ:

- дар хатсайрҳое, ки $KN \leq 2$ мебошад, КН ба меъёр наздик буда, дар соатҳои гуногуни шабонарӯз пасту баландшавии мусофирон зиёд тағйирёбанда нест;

- дар хатсайрҳое, ки $KN > 2$ мебошад, КН аз меъёр зиёд буда, дар соатҳои гуногуни шабонарӯз пасту баландшавии мусофирон зиёд тағйирёбанда аст.

Хатсайрҳое, ки $KI \geq 2$ мебошанд ва истифодаи ғунҷоишашон дар диапазони $0.5 > KIF \geq 0.2$ ҷойгир аст. Ба ин хатсайрҳо дар соатҳои зиёдшавии мусофирон, микроавтобусҳои калонҳаҷм ва дар соатҳои камшавии мусофирон, микроавтобусҳои хурдҳаҷм тавсия барои истифодабарӣ дода мешавад.



Расми 1 – Ҷараёни мусофирон

Шарҳи аломатҳо: А – автобус; Т – троллейбус; М – микроавтобус.

Маълумотҳо дар расми 1 барои рӯзҳои корӣ ва самти мустақим оварда шудаанд, ки 70 хатсайр ва соатҳои шабонарӯз аз соати 5:00 то 23:00-ро дар бар мегиранд, [1]. Ҷараёни мусофирон барои воситаҳои нақлиёти ҷамъиятӣ аз қабili автобус, троллейбус ва микроавтобус ҳисоб карда шудаанд. Бо истифода аз маълумотҳои ҳисобшуда, таҳлил ва тавсияҳо пешниҳод карда мешаванд.

Тибқи маълумоти расми 1, ҷараёни мусофирон дар шаҳр дорои хусусияти бисёрқуллагӣ мебошад. Аз соати 05:00 то 07:00 афзоиши тадриҷии фаъолият мушоҳида шуда, авҷи аввалини он ба соатҳои 07:00–08:00 рост меояд. Ин давра бо оғози рӯзи корӣ ва таҳсил дар муассисаҳои таълимӣ алоқаманд аст.

Қуллаи дуюми ҷараён, ки нисбатан тӯлонитар аст, дар интервали соатҳои 12:00 то 14:00 ва қуллаи сеюм дар вақти бегоҳирӯзӣ, яъне соатҳои 17:00-18:00 ба қайд гирифта мешавад.

Дар асоси нишондиҳандаҳои миқдорӣ, хатсайрҳоро ба се гурӯҳи асосӣ тақсим кардан мумкин аст:

- хатсайрҳои пурмусофир: Хатсайри A43 ҳамчун хатсайри пурмусофиртарин муайян гардид. Шиддати ҳаракат дар ин хатсайр дар соатҳои 13:00 ба 3243 нафар ва дар соати 07:00 ба 2804 нафар мерасад. Инчунин, хатсайрҳои M11, M25, T10 ва T12 дорои ҷараёни баланди мусофирон (беш аз 1000 нафар дар соатҳои авҷ) мебошанд.

- хатсайрҳои миёна: Ба ин гурӯҳ хатсайрҳои A1, A29, M5, M46 дохил мешаванд, ки ҷараёни мусофиронашон дар ҳудуди 400-900 нафар дар соатҳои авҷ қарор дорад.

- хатсайрҳои каммусофир: Хатсайрҳои A17, M21, M29 ва M87 ҷараёни ками мусофиронро (камтар аз 200 нафар дар соат) нишон медиҳанд. Ин хатсайрҳо барои таъмини самаранокии хароҷот, истифодаи воситаҳои нақлиёти камҳаҷмро талаб мекунанд.

Таҳлил нишон медиҳад, ки дар баъзе хатсайрҳо фарқияти байни соатҳои зиёдшавӣ ва камшавии мусофирон хеле калон аст. Масалан:

- дар хатсайри A1, ҷараён дар соати 07:00 (898 нафар) нисбат ба соати 11:00 (259 нафар) се баробар зиёд аст.

- дар хатсайри T12, ҷараён дар соати 13:00 ба 2021 нафар мерасад, ҳоло он ки дар соати 09:00 ҳамагӣ 135 нафарро ташкил медиҳад.

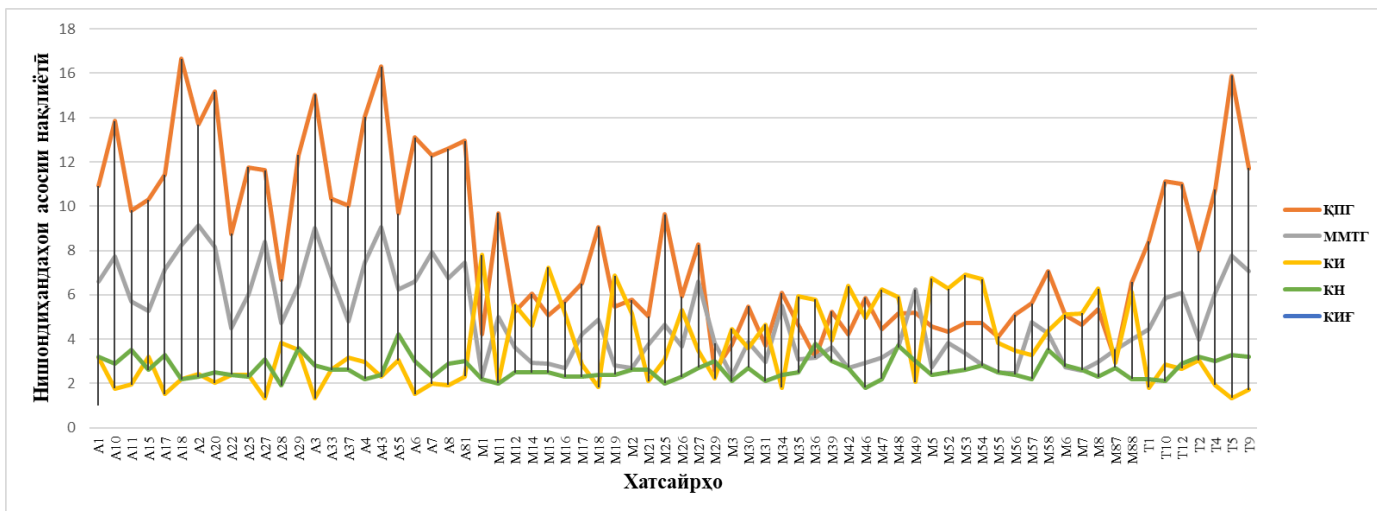
- Ин нишондиҳандаҳо зарурати истифодаи графикаи ҳаракати тағйирёбандаро тақозо мекунанд.

Дар асоси таҳлили ҷараёни мусофирон дар рӯзҳои корӣ ва самти мустақим ҳулосаҳои зерин бароварда шуданд:

- оптимизатсияи ҷадвал – барои хатсайрҳои пурмусофир (ба мисли A43 ва M25) зарур аст, ки фосилаи ҳаракат дар байни соатҳои 07:00-09:00 ва 12:00-14:00 то ҳадди ақал коҳиш дода шавад.

- тақсими воситаҳои нақлиёт – дар хатсайрҳои A43 ва T12 истифодаи автобус ва троллейбусҳои иқтидори калон калон самаранок мебошад.

- хатсайрҳои шабона – бо назардошти он ки пас аз соати 21:00 ҷараёни мусофирон дар аксари хатсайрҳо (ба истиснои M11 ва M25) ба сифр наздик мешавад, истифодаи воситаҳои нақлиёти хурдҳаҷм тавсия дода мешавад.



Расми 2 – Нишондиҳандаҳои асосии нақлиётӣ

Маълумотҳои 70 хатсайр, нишондиҳандаҳои нақлиётӣ аз қабили ҚПГ, ММТГ, КИ ва КИГ барои рӯзҳои корӣ ва самти мустақим дар расми 2 оварда шудаанд, ки барои таҳлил ва пешниҳоди тавсияҳои муфид мусоидат мекунанд. Дар асоси ин маълумотҳо, нишондиҳандаҳои нақлиётӣ барои рӯзҳои корӣ ва самти мустақим, ки дар ҷадвали 3 оварда шудаанд, таҳлил гардиданд.

Ҷадвали 3 – Натиҷаи таҳлили нишондиҳандаҳои нақлиётӣ дар рӯзҳои корӣ ва самти мустақим

$KI \geq 2$	$KI < 2$	$KIF \geq 0.5$	$0.5 > KIF \geq 0.2$	$KN > 2$	$KN \leq 2$
M1, M15, M53, M19, M5, M54, M42, M52, M8, M47, M88, M35, M48, M36, M12, M26, M16, M7, M2, M6, M46, M31, M14, M3, M58, M39, M55, A28, M30, A29, M27, M56, M57, A15, A1, A37, M25, T2, A55, A4, M87, M17, T10, T12, A33, A2, A22, A25, A81, A43, M29, A18, M21, M11, M49, A20	A7, A11, A8, T4, M18, M27, M34, T1, A10, T9, A17, A6, A27, T5, A3	M18, M25, M11, M17, M27, M49, M34	M58, M16, A18, M21, A20, A2, T5, A3, A43, A27, A10, M12, M57, A4, A81, M8, M88, M2, M14, M36, A25, M6, M39, A6, M26, M46, M56, T9, M48, A28, M30, A7, M55, A8, A17, T4, M53, M52, M54, M31, M19, M35, A29, A1, A37, A33, A22, M42, M7, M29, A11, M15, M47, A15, T10, T12, T1, M1, M5, M3, T2, A55, M87	A55, M36, M48, A29, M58, A11, T5, A17, T2, A1, T9, A27, T4, M49, A6, M29, M39, A81, A8, T12, A10, M6, A3, M54, M27, M42, M87, M30, M21, M2, M53, M7, A33, A37, A15, M14, M35, M52, M55, A20, M12, M15, M18, A43, M5, M56, M34, A22, M19, A25, M8, M26, M16, M17, A2, A7, A18, T1, A4, M88, M57, M47, M1, M31, T10, M3	M11, M25, A28, M46

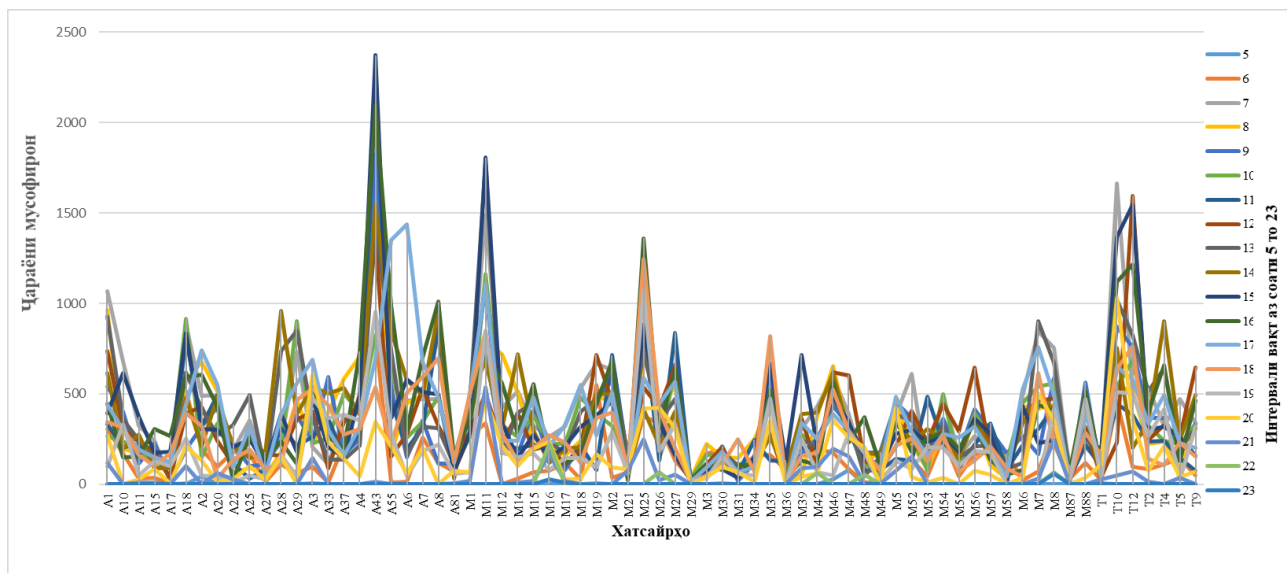
Шарҳи аломатҳо: А – автобус; Т – троллейбус; М – микроавтобус.

Дар асоси маълумотҳои ҷадвали 3 таҳлил ва хулосаҳои зерин бароварда мешавад:

- хатсайрҳои М18, М34 коэффитсиенти истифодаи ғунҷоиши баланд ва хатсайрҳои А10, А11, А17, А27, А3, А6, А7, А8, Т1, Т4, Т5, Т9 миёна дошта, коэффитсиенти пасти ивазшавӣ доранд. Тавсия дода мешавад, ки масофаи ин хатсайрҳо зиёд карда шавад ё қисмате аз қитъаи хатсайрҳо тағйир дода шавад;

- ба ғайр аз хатсайрҳои М11, М25, А28, М46 КН аз меъёр зиёд буда, тавсия дода мешавад, ки дар соатҳои зиёдшавии мусофирон, шумораи гардишҳо зиёд ва дар соатҳои камшавӣ кам карда шавад.

Ҷараёни мусофирон ва нишондиҳандаҳои асосӣ дар рӯзҳои корӣ ва самти баръакс чунин таҳлил карда мешавад.



Расми 3 – Ҷараёни мусофирон дар рӯзҳои корӣ, интервали вақт ва самти баръакс

Маълумотҳо дар расми 3 барои рӯзҳои корӣ ва самти баръакс оварда шудаанд, ки 70 хатсайр ва соатҳои шабонарӯз аз соати 5:00 то 23:00-ро дар бар мегиранд. Ҷараёни мусофирон барои воситаҳои нақлиёти ҷамъиятӣ аз қабili автобус, троллейбус ва микроавтобус ҳисоб карда шудаанд.

Чараёни мусофирон дар самти баръакс нисбат ба самти мустақим дорои хусусиятҳои фарқкунанда мебошад. Афзоиши ҷиддии талабот аз соати 07:00 оғоз ёфта, дар бисёр хатсайрҳо то соати 09:00 давом мекунад. Ин нишон медиҳад, ки дар ин давра рафту омад ба ҳарду самт ғаёл аст.

Қуллаҳои асосии ҳаракат дар самти баръакс ба вақтҳои зерин рост меоянд:

- соатҳои 07:00-08:00 – зиёдшавии мусофирон дар субҳ (барои хатсайрҳои А1, А43, М11);
- соатҳои 12:00-13:00: – зиёдшавии мусофирон дар нисфирӯзӣ (барои хатсайрҳои М11, Т12);
- соатҳои 15:00-17:00 – зиёдшавии мусофирон баъдизӯҳрӣ, ки дар баъзе хатсайрҳо (масалан А43, М25) нисбат ба субҳ ҳам зиёдтар аст.

Дар асоси нишондиҳандаҳои расми 3, хатсайрҳоро метавон чунин гурӯҳбандӣ кард:

• хатсайрҳои дорои шиддати баланд – хатсайри А43 дар самти баръакс низ пурмусофир буда, дар соати 15:00 ба нишондиҳандаи 2372 нафар мерасад. Хатсайри М11 дар соати 12:00 дорои чараёни 1780 нафар ва дар соати 15:00 дорои 1807 нафар мусофир мебошад;

• хатсайрҳои троллейбусии пурмусофир – хатсайрҳои Т10 ва Т12 дар самти баръакс чараёни устувори беш аз 1000 нафарро дар соатҳои авҷ (07:00, 12:00, 15:00) таъмин мекунад;

• хатсайрҳои дорои чараёни ноустувор – дар хатсайрҳое ба монанди А6, ҷаҳишҳои ногаҳонӣ мушоҳида мешавад (масалан, дар соати 17:00 чараён то 1439 нафар афзоиш ёфта, дар соатҳои дигар то 200-300 нафар коҳиш меёбад).

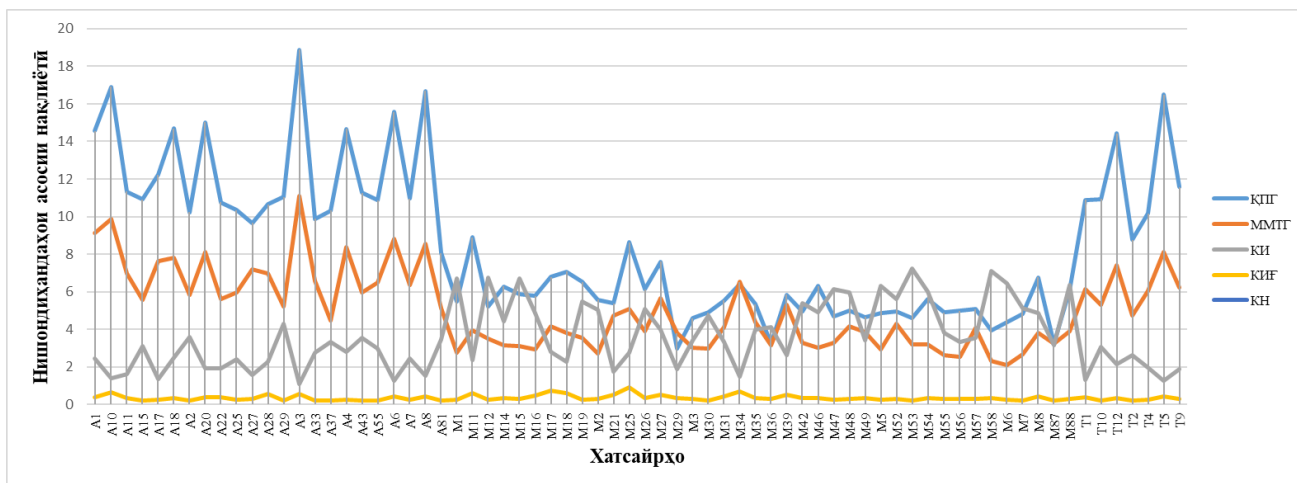
Таҳлил нишон медиҳад, ки микроавтобусҳо дар самти баръакс нисбат ба автобусҳо чараёни мусофиронро дар давоми рӯз баробартар тақсим мекунад. Масалан, хатсайри М25 аз соати 07:00 то 19:00 чараёни мусофиронро дар ҳудуди 700-1300 нафар устувор нигоҳ медорад.

Хулосаи илмӣ ва амалӣ

• нобаробарии коэффисиенти самтӣ – таҳлили муқоисавии расми 2 ва 3 нишон медиҳад, ки дар баъзе хатсайрҳо (масалан А1) чараён дар самти баръакс дар соатҳои 07:00-08:00 нисбат ба самти мустақим бештар аст, ки инро бояд ҳангоми танзими фосилаи ҳаракат ба назар гирифт.

• зарурати афзоиши иқтидор дар нимаи дуҷуми рӯз – бархӯрди қуллаҳои ҳаракат дар соатҳои 15:00-17:00 дар самти баръакс талаб мекунад, ки шумораи воситаҳои нақлиёт дар ин давра кам карда нашавад.

• оптимизатсияи хатсайрҳои каммаҳсул – хатсайрҳои М29 ва М87 дар самти баръакс низ чараёни хеле кам доранд (зери 50-100 нафар), ки аз нигоҳи иқтисодӣ таҷдиди назари ин хатсайрҳо ё истифодаи нақлиёти хурдҳаҷмро тақозо мекунад.



Расми 4 – Нишондиҳандаҳои асосии нақлиётӣ дар самти баръакс

Маълумотҳои 70 хатсайр, нишондиҳандаҳои нақлиётӣ аз қабili ҚПГ, ММТГ, КИ ва КИГ барои рӯзҳои корӣ ва самти баръакс дар расми 4 оварда шудаанд, ки барои таҳлил ва пешниҳоди тавсияҳои муфид мусоидат мекунад. Дар асоси ин маълумотҳо, нишондиҳандаҳои нақлиётӣ барои рӯзҳои корӣ ва самти баръакс, ки дар ҷадвали 4 оварда шудаанд, таҳлил гардиданд.

Ҷадвали 4 – Натиҷаи таҳлили нишондиҳандаҳои нақлиётӣ дар рӯзҳои қорӣ, самти баръакс

КИ ≥ 2	КИ < 2	КН ≥ 0.5	0.5 $>$ КН ≥ 0.2	КН > 2	КН ≤ 2
M53, M58, M12, M1, M15, M6, M88, M5, M47, M54, M48, M52, M19, M42, M7, M26, M2, M46, M16, M8, M30, M14, A29, M36, M27, M35, M55, A2, M57, A43, A81, M49, M3, M31, M56, A37, M87, A15, T10, A55, A4, M17, M25, A33, M39, T2, A18, A1, A7, A25, M11, A28, M18, T12	T4, A22, A20, M29, T9, M21, A11, A27, A8, M34, A10, A17, T1, T5, A6, A3	M25, M17, M34, A10, M11, M18, A28, A3, M27, M21, M39	M16, M31, A6, M8, A8, T5, A1, A22, A20, T1, M29, T12, M58, M26, M14, M35, M49, A18, A11, M54, M42, M46, M36, M55, M56, A27, M57, M3, M48, M52, M2, T9, M15, M88, M12, M6, M47, A4, T4, A17, M5, M19, A25, A7, M1, M53, M7, A2, A43, A81, M87, A15, T10, A33, M30, A37, T2, A29, A55	A6, A28, A17, M31, M53, M39, A55, M14, M48, T5, M12, T4, A25, M36, M58, M87, A29, A22, A10, M52, T9, M3, T12, M56, M18, M55, T10, A33, A2, A8, M6, A1, A37, A11, A15, M7, M34, M42, M49, A27, T1, M17, M35, M15, M47, M88, M11, T2, M21, M27, M19, A43, A20, A3, M25, M57, A18, M54, M29, A7, A81	M2, M8, M5, M30, M1, M26, M46, M16

Дар асоси маълумотҳои ҷадвали 4 таҳлил ва ҳулосаҳои зерин бароварда мешавад:

- хатсайрҳои A10, A3, M21, M34 коэффитсиенти истифодаи ғунҷоиши баланд ва хатсайрҳои A11, A20, A22, A6, A8, M29, T1, T5 миёна дошта, коэффитсиенти пасти ивазшавӣ доранд. Тавсия дода мешавад, ки масофаи ин хатсайрҳо зиёд карда шавад ё қисмати аз қитъаи хатсайрҳо тағйир дода шавад;

- ба ғайр аз хатсайрҳои M2, M8, M5, M30, M1, M26, M46, M16 КН аз меъёр зиёд буда, тавсия дода мешавад, ки дар соатҳои зиёдшавии мусофирон, шумораи гардишҳо зиёд ва дар соатҳои камшавӣ кам карда шавад.

Ҳулоса

1. Таҳлил нишон дод, ки чараёни мусофирон дар шаҳри Душанбе дорои хусусияти бисёрқуллагӣ буда, авҷи асосӣ ба соатҳои 07:00-08:00 (оғози қор ва таҳсил), 12:00-14:00 (нисфирӯзӣ) ва 17:00-18:00 (беғохирӯзӣ) рост меояд.

2. Хатсайри A43 ҳамчун пурмусофиттарин муайян гардид, ки шиддати он дар соатҳои авҷ то ба 3243 нафар мерасад. Хатсайрҳои M11, M25, T10 ва T12 низ дар гурӯҳи хатсайрҳои дорои чараёни баланд (беш аз 1000 нафар дар соат) қарор доранд. Тавсия дода мешавад, ки барои хатсайрҳои коммуналӣ (автобус ва троллейбус) нишондиҳандаи КИФ дар ҳудуди 0.7-0.8 нигоҳ дошта шавад. Ин тавозуни байни даромади ширкат ва роҳати мусофирро таъмин мекунад.

3. Дар аксарияти хатсайрҳо (ба истиснои M11, M25, A28, M46) КН аз меъёр зиёд буда, тағйирёбии шадиди шумораи мусофиронро дар соатҳои гуногун нишон медиҳад. Аксарияти хатсайрҳо дорои КН-и аз меъёр зиёд (КН > 2) мебошанд, ки ин зарурати бозбинии ҷадвали ҳаракатро дар соатҳои пуршиддат тақозо мекунад. Барои хатсайрҳое, ки КН аз меъёр зиёд аст, қорӣ қардани гардишҳои кӯтоҳ дар қитъаҳои пурмусофири хатсайр мақсадбахш аст.

4. Як қатор хатсайрҳо (A10, A11, A17, A27, A3, A6) дорои КИ-и паст мебошанд, ки ин аз номукаммалии масири ҳаракат дар қитъаҳои муайян шаҳодат медиҳад. Барои хатсайрҳои муайяншуда (масалан, A10, A11, A3, M34) тавсия дода мешавад, ки масофаи ҳаракат зиёд карда шавад ё қисмати хатсайр барои баланд бардоштани КИ тағйир дода шавад.

5. Барои хатсайрҳои дорои нишондиҳандаи миёнаи истифодаи ғунҷоиш, истифодаи микроавтобусҳои калонҳаҷм дар соатҳои пуршиддат ва хурдҳаҷм дар соатҳои камшиддат аз ҷиҳати иқтисодӣ мақсадбахш ҳисобида шуд.

Муқарриз: Ҷамалзода Р.Ш. – н.и.т., дотсенти қабедраи САИ-и ДТЭП ба номи академик М.С. Осимӣ.

Адабиёт

1. Саломзода Р.С., Таҳлили такроршавии хатсайрҳои шаҳри душанбе ва ҳалли мушкилоти он бо истифода аз усули Dynamic Time Warping / Саидов Ш.С. // Конференсияи байналмилалии илмӣ-амалӣ таҳти унвони “Илм – асоси рушди инноватсионӣ”. Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, шаҳри Душанбе. – 2025. – С. 265-272.

2. Семенихин Б.А., Анализ пассажиропотоков на маршрутах автобуса г. Курска / Кузнецова Л.П., Мальнева Ю.А., Алтухов А.Ю. // Мир Транспорта И Технологических Машин. Учредители: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. ISSN: 2073-7432.

3. Кулев А. В., Оптимизация маршрутов пассажирского транспорта в городе. Режим доступа <https://www.dissercat.com/content/optimizatsiya-marshrutov-passazhirskogo-transporta-v-gorode4>.

4. Боровиков А.В., Анализ пассажиропотока городского автобусного маршрута. // Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. Режим доступа <https://eduherald.ru/article/view?id=19689>.

5. Дунайцев Р.А., Анализ влияния технологии рандомизации mac-адресов мобильных устройств на мониторинг и анализ пассажиропотока. / Лебедева Н.А. // Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. – 2021. – С. 320-324. // НЭБ eLIBRARY.

6. Шадеева Е.И., Анализ методов мониторинга пассажиропотоков городского пассажирского транспорта. Клепцова Л.Н. В сборнике: Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы. Материалы III Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Э.И. Забнева. 2019. С. 71-73.

7. Сундуков Е.Ю., Модели для анализа данных обследования пассажиропотоков на городском пассажирском транспорте. / Тарабукина Н.А. В сборнике: Проблемы развития транспортной инфраструктуры Европейского Севера России. Ответственный редактор С. А. Гладких. 2012. С. 22-30.

8. Бурдуковский Н.П., Анализ автоматизированных систем мониторинга пассажиропотока. / Храпов С.Д., Старичихин М.Г., Латипов О.О. Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 9-3. С. 33-39.

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

TJ	RU	EN
Қосимов Абдунаби Абдурауфович	Косимов Абдунаби Абдурауфович	Kosimov Abdunabi Abduraufovich
Доктори илмҳои техники, дотсент	Доктор технических наук, доцент	Doctor of technical sciences, associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: abdunabi_kbtut@mail.ru		
TJ	RU	EN
Саидов Шамсиддин	Саидов Шамсиддин	Saidov Shamsiddin
докторанти PhD	докторант PhD	PhD student
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: saidovshamsiddin98@gmail.com		

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ В ЛОКАЛЬНЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

А.Д. Бахдавлатов, Д. Оламафрузи, А.Р. Ато

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассматриваются актуальные вопросы построения и оптимизации мультисервисных сетей связи. Автором проведен ретроспективный анализ развития рынка телекоммуникаций в Республике Таджикистан за период 2000–2026 гг., выявивший переход от экстенсивного количественного роста операторов к необходимости качественной модернизации инфраструктуры. Основное внимание уделено преодолению технического противоречия между базовой технологией Ethernet и жесткими требованиями современных мультимедийных сервисов к параметрам качества обслуживания. Предложен авторский подход к реализации концепции программно-конфигурируемых сетей на базе Linux, позволяющий обеспечить гарантированные параметры передачи трафика без значительных капитальных затрат на аппаратное переоснащение. Результаты исследования могут быть использованы малыми и средними организациями для эффективной трансформации локальных сетей в полноценную мультисервисную среду.

Ключевые слова: мультисервисные сети, качества обслуживания, программно-конфигурируемых сетей, управление трафиком, IP-телефония, телекоммуникационный рынок.

ТАҲҲИИ УСҮЛҲОИ БА НАРМАҲЗОР НИГАРОНИДАШУДАИ ИДОРАКУНИИ СИФАТИ ХИДМАТРАСОНӢ ДАР ШАБАКАҲОИ МАҲАЛЛИИ БИСӢРХИЗМАТРАСОНӢ: ҶАНБАИ МИНТАҚАВӢ ВА ДУРНАМОИ ТЕХНОЛОҒӢ

А.Д. Бахдавлатов, Д. Оламафрузӣ, А.Р. Ато

Дар мақола масъалаҳои мубрами сохтмон ва оптимизатсияи шабакаҳои алокаи бисёрхизматрасонӣ баррасӣ шудаанд. Муаллифон таҳлили рушди бозори телекоммуникатсияи Ҷумҳурии Тоҷикистонро дар давраи солҳои 2000–2026 анҷом додаанд, ки гузаришро аз рушди микдори ширкатҳои операторӣ ба зарурати навсозии сифатии инфрасохтор ошкор намуд. Диққати асосӣ ба бартараф кардани зиддияти техникӣ байни технологияи асосии Ethernet ва талаботи катъии хизматрасониҳои муосири мультимедиявӣ ба параметрҳои сифати хизматрасонӣ равона шудааст. Равиши муаллифӣ барои татбиқи консепсияи шабакаҳои аз ҷиҳати нармафзор идорашаванда дар асоси Linux пешниҳод шудааст, ки имкон медиҳад параметрҳои кафолатноки интиқоли трафик бе хароҷоти зиёде асосӣ барои таҷҳизонидани техникӣ таъмин карда шаванд. Натиҷаҳои тадқиқот метавонанд аз ҷониби ташкилотҳои хурд ва миёна барои табдили самараноки шабакаҳои маҳаллӣ ба муҳити пурраи мультисервис истифода гарданд.

Калидвожаҳо: шабакаҳои бисёрхизматрасонӣ, сифати хизматрасонӣ, шабакаҳои барномавии идорашаванда, идоракунии трафик, IP-телефония, бозори телекоммуникатсия.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE-ORIENTED QUALITY OF SERVICE MANAGEMENT METHODS IN LOCAL MULTISERVICE NETWORKS: REGIONAL ASPECT AND TECHNOLOGICAL PROSPECTS

A.D. Bakhdavlatov, D. Olamafruzi, A.R. Ato

The article discusses current issues regarding the construction and optimization of multiservice communication networks. The author conducted a retrospective analysis of the telecommunications market development in the Republic of Tajikistan for the period 2000–2026, revealing a shift from the extensive quantitative growth of operators to the necessity of qualitative infrastructure modernization. Special attention is paid to overcoming the technical contradiction between basic Ethernet technology and the strict requirements of modern multimedia services for Quality of Service (QoS) parameters. The author proposes a proprietary approach to implementing the concept of Software-Defined Networking (SDN) based on Linux, which allows for guaranteed traffic transmission parameters without significant capital expenditures on hardware upgrades. The research results can be utilized by small and medium-sized organizations for the effective transformation of local area networks into a full-fledged multiservice environment.

Keywords: multiservice networks, Quality of Service, Software-Defined Networking, traffic management, IP telephony, telecommunications market.

Введение

Современная парадигма развития телекоммуникаций характеризуется фундаментальным сдвигом от архитектуры разрозненных узкоспециализированных каналов связи к модели конвергентных решений. В центре этой трансформации находится концепция мультисервисных сетей [1-5]. Однако, несмотря на повсеместное внедрение конвергентных технологий, в отечественной научно-технической практике до сих пор сохраняется терминологическая неопределенность. Анализ профильной литературы указывает на отсутствие унифицированного

понятийного аппарата: существующие дефиниции варьируются от упрощенной трактовки сети как среды передачи «более одной услуги» до абстрактного отождествления с концепцией сетей следующего поколения [6].

Подобная семантическая гетерогенность создает существенные методологические барьеры. Большинство распространенных определений носит описательный характер, фокусируясь на инфраструктурных аспектах, но игнорируя критически важный критерий — детерминированность параметров доставки данных [7-10]. В связи с этим в рамках настоящего исследования мультисервисная сеть постулируется не просто как транспортная среда, а как единая телекоммуникационная инфраструктура, обеспечивающая коммутацию гетерогенного трафика с гарантированными и контролируемыми метриками качества обслуживания. Именно способность гарантировать соблюдение параметров SLA (Service Level Agreement) отличает полноценную мультисервисную сеть от простой совокупности каналов передачи данных.

Постановка проблемы исследования

Организация мультисервисной инфраструктуры на предприятиях сектора SMB затруднена из-за специфики доминирующего стандарта. Хотя Ethernet является фундаментом современных локальных сетей, его историческая архитектура опирается на модель коммутации с «наилучшими усилиями». Следовательно, эта технология по умолчанию лишена встроенных механизмов, позволяющих резервировать ресурсы канала или выстраивать очередь трафика по приоритетам.

В то же время внедрение современных мультимедийных сервисов - IP-телефонии, потокового видеовещания, систем видеоконференцсвязи — выдвигает жесткие требования к характеристикам канала. Критическими факторами становятся не только пропускная способность, но и такие параметры, как латентность, джиттер (вариация задержки) и коэффициент потери пакетов.

Традиционный путь разрешения данного конфликта предполагает модернизацию сетевой инфраструктуры с переходом на дорогостоящее оборудование операторского класса, поддерживающее аппаратную реализацию сложных политик качества обслуживания. Однако для значительной части организаций такой подход экономически нецелесообразен.

Исходя из вышесказанного, целью данной работы является разработка и обоснование программного метода трансформации стандартных сетей Ethernet в мультисервисную среду. Предлагаемый подход призван обеспечить гарантированное качество обслуживания для мультимедийного трафика без необходимости существенных капитальных вложений в аппаратную модернизацию, используя возможности программной маршрутизации и управления трафиком.

Материалы и методы

В основу проведенного исследования положена концепция программно-конфигурируемых сетей, адаптированная для локальных мультисервисных узлов связи [11-17]. Техническая реализация предлагаемого решения базируется на использовании сетевого стека операционной системы семейства Linux, выбранной в качестве базовой платформы ввиду открытости исходного кода, гибкости настройки сетевых интерфейсов и высокой производительности механизмов обработки пакетов.

Архитектурные принципы решения. Разработанный программный комплекс функционирует на уровне пограничного шлюза организации и реализует иерархическую модель управления трафиком, состоящую из трех функциональных уровней:

1. Слой идентификации и маркировки. Осуществляется глубокий анализ входящих пакетов с последующим присвоением меток в полях DSCP/ToS заголовков IP. Это позволяет дифференцировать потоки данных по их приоритетности (голос, видео, данные) на раннем этапе обработки.

2. Слой динамического распределения ресурсов. На данном этапе задействуются алгоритмы планирования очередей. Для сервисов, чувствительных к задержкам, резервируется гарантированная полоса пропускания. Трафик с низким приоритетом обслуживается по остаточному принципу, что предотвращает деградацию критически важных сервисов при пиковых нагрузках.

3. Слой обеспечения информационной безопасности. Включает в себя механизмы фильтрации трафика и межсетевого экранирования, обеспечивающие изоляцию сегментов сети и защиту внутреннего периметра от внешних угроз.

4. Технический инструментарий и алгоритмы.

Логическая сегментация мультисервисных потоков реализована с применением стандарта IEEE 802.1Q. Данный подход минимизирует негативное влияние широковещательного шторма, характерного для передачи многоадресного трафика в сетях IP-TV, на общую производительность системы.

Программная реализация системы обеспечения качества обслуживания выполнена на базе подсистемы управления трафиком ядра Linux. Ключевой особенностью авторской разработки является создание программного контроллера, который:

- Автоматизирует генерацию иерархических правил фильтрации и дисциплин очередей.
- Разработанный программный модуль обеспечивает унифицированный интерфейс управления политиками, что позволяет абстрагировать администратора от сложных низкоуровневых конфигураций операционной системы.

Применение данного метода позволяет перенести центр управления сетевой логикой с проприетарного аппаратного обеспечения на гибкую программную платформу, реализуя локальную модель SDN-контроллера. Это обеспечивает масштабируемость сети и возможность оперативной адаптации ресурсов под специфические нужды мультисервисного узла доступа.

Экспериментальное исследование и анализ результатов

Анализ динамики развертывания мультисервисных платформ. В ходе исследования был проведен ретроспективный анализ количественных показателей функционирования операторов мультисервисных сетей в Республике Таджикистан. Эмпирической базой послужили статистические данные за период 2000–2026 гг. (этап формирования рынка) с последующей экстраполяцией и анализом текущего состояния до 2026 г.

Результаты мониторинга инфраструктурных изменений представлены на рисунке 1.

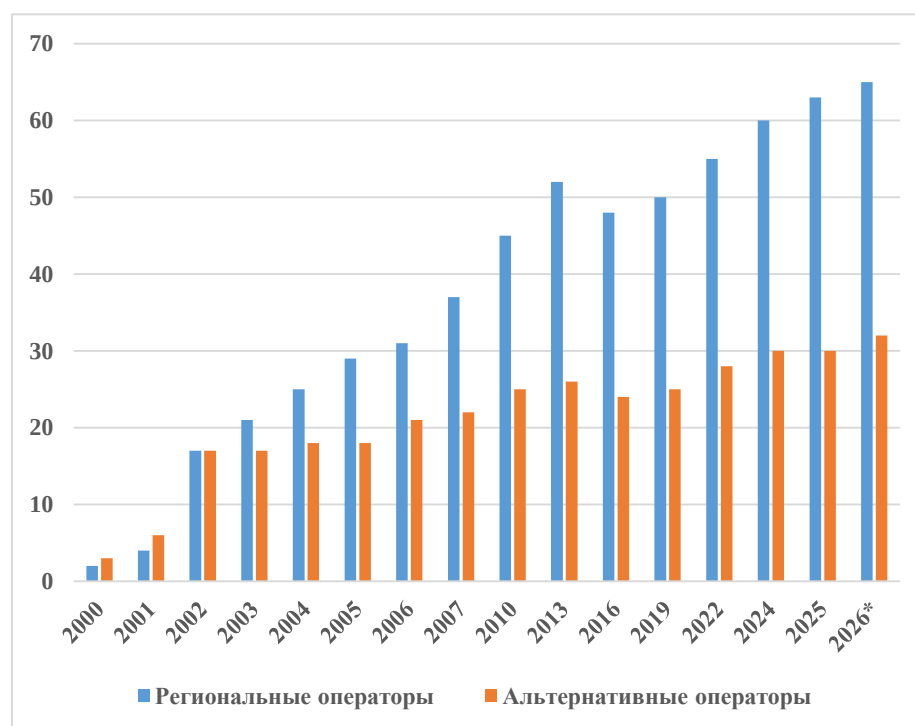


Рисунок 1 – Рост количества мультисервисных сетей (операторов) в Таджикистане (2000–2026 гг.)

Как показывают данные рисунка 1, в начальный период (2000–2026 гг.) наблюдался экспоненциальный рост числа региональных площадок (рост более чем в 18 раз). Современный этап характеризуется качественным переходом: при стабилизации количества физических узлов происходит резкое увеличение плотности сервисов на одну точку доступа за счет внедрения технологий 4G/5G и волоконно-оптических линий.

Апробация программно-ориентированного метода управления трафиком. Для проверки эффективности предложенного метода «мягкой» модернизации сетей на базе ОС Linux было проведено моделирование нагрузки на узле мультисервисного доступа. Основной задачей эксперимента являлось подтверждение возможности обеспечения гарантированного качества обслуживания для критических сервисов в условиях ограниченной пропускной способности. В ходе эксперимента программный «оркестратор» управлял дисциплинами очередей и правилами фильтрации трафика. Исследование включало следующие этапы:

1. Классификация трафика: Идентификация пакетов по меткам DSCP/ToS.
2. Стресс-тестирование: Создание фоновых трафика (загрузка файлов по протоколу HTTP/FTP), занимающего до 90% полосы пропускания.
3. Измерение метрик качества обслуживания: Замер задержки и джиттера для приоритетных потоков.

Результаты тестирования показали:

- При дефолтной конфигурации Ethernet запуск тяжелого фоновых трафика приводил к деградации качества видеопотока и прерыванию голосовых вызовов (потери пакетов > 15%).
- После активации разработанного программного механизма управления трафиком задержка для приоритетных пакетов сократилась до стабильных 20-30 мс, а потери пакетов в мультимедийных сервисах были сведены к нулю за счет динамического шейпинга фоновых задач.

Экспериментальные данные подтверждают, что мультисервисные сети в регионе трансформируются из количественного роста в фазу глубокой технологической оптимизации. Разработанный метод программного управления позволяет реализовать функционал SDN-контроллера на стандартном оборудовании, обеспечивая устойчивость сервисов реального времени к сетевым перегрузкам без капитальных затрат на замену аппаратной части.

Заключение

В ходе проведенного исследования были получены следующие результаты:

1. Уточнен понятийный аппарат: обосновано, что ключевым отличием истинной мультисервисной сети является не количество предоставляемых услуг, а способность инфраструктуры обеспечивать гарантированное и контролируемое качество обслуживания для гетерогенного трафика.

2. Выявлены рыночные тенденции: статистический анализ динамики операторов связи в Таджикистане показал, что к 2026 году количество субъектов рынка достигнет своего насыщения (~97 единиц). Это подтверждает гипотезу о том, что дальнейшее развитие отрасли должно базироваться на интеллектуальных методах управления существующими ресурсами, а не на простом увеличении числа каналов связи.

3. Обоснована техническая эффективность: предложенный метод программной маршрутизации и классификации трафика на базе ядра Linux доказал свою состоятельность. Использование «оркестратора» для настройки дисциплин очередей позволяет эффективно изолировать чувствительный к задержкам трафик от фоновых процессов загрузки данных.

4. Практическая значимость: разработанный подход позволяет реализовать функции дорогостоящего оборудования операторского класса на стандартных программно-аппаратных платформах. Это открывает возможности для бюджетной цифровизации организаций в условиях регионального рынка, обеспечивая высокую доступность современных инфокоммуникационных услуг.

В заключение следует отметить, что перенос логики управления сетью на программный уровень является наиболее перспективным направлением развития локальных мультисервисных систем, позволяя гибко адаптироваться к растущим требованиям потребителей контента в условиях цифровой трансформации экономики.

Рецензент: Сафаров А.Т. – д.т.н., главный научный сотрудник Физико-технического Института имени С.У. Умарова НАНТД.

Литература

1. B. Ibrahimov, A. Hamidova and E. Jafarova, "Research and Analysis of the Effectiveness Multiservice Communication Networks Using SDN Technology," 2024 3rd International Conference on Problems of Logistics, Management

and Operation in the East-West Transport Corridor (PLMO), Baku, Azerbaijan, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/PLMO62307.2024.10887152.

2. V. Babkin, E. Stroganova and N. Shagrov, "Multiservice Networks Performance Monitoring Using the Threshold Model," 2025 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Tyumen, Russian Federation, 2025, pp. 1-5, doi: 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079382.

3. E. P. Stroganova and S. E. Grychkin, "Multiservice Networks Performance Monitoring System Approach and its Experimental Implementation," 2023 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), Vienna, Austria, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/EMCTECH58502.2023.10297000.

4. A. Muradova and D. Normatova, "The results of a research of the reliability of the multiservice communication network," 2022 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICISCT55600.2022.10146926.

5. A. Muradova and K. Khujamatov, "Results of Calculations of Parameters of Reliability of Restored Devices of the Multiservice Communication Network," 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011932.

6. B. G. Ibrahimov, C. A. Yusifov and M. F. Binnetov, "Research Methods of Assessing the Efficiency Information Protection Systems in Multiservice Communication Networks," 2025 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Tyumen, Russian Federation, 2025, pp. 1-4, doi: 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079381.

7. B. G. Ibrahimov, M. H. Hasanov and F. H. Agayev, "Research and Analysis Comprehensive Indicators Efficiency in Links of Multiservice Communication Networks," 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russia, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/WECONF51603.2021.9470675.

8. Саидов Б.Б. Саъдулло И. Абдурасулов Д.А. Разработка модели мультидиэлектрической осевой антенны для передачи и приема информации // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 3(67). – С. 42-48.

9. B. G. Ibrahimov and Z. A. Ismaylov, "Research Quality of Functioning Multiservice Converged Communication Networks," 2024 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russian Federation, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/WECONF61770.2024.10564639.

10. T. Nishanbayev, S. Mahmudov and M. Abdullayev, "Distribution Model Of Heterogeneous Flow In A Software-Defined Multiservice Network," 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011947.

11. T. Z. Teshabayev, M. S. Yakubova, T. N. Nishanbayev, A. M and G. S. Sadikova, "The formation of the structure of a multiservice network based on communication equipment from different manufacturers," 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011830.

12. B. G. Ibrahimov and A. D. Tagiyev, "Mathematical Model for Optimizing the Efficiency of the Functioning Multiservice Communication Networks on Base SDN & NFV Technologies," 2021 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), Vienna, Austria, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/EMCTECH53459.2021.9619182.

13. S. N. Novikov and G. V. Popkov, "Generalized Functional Model and Classification of Routing Methods in Multiservice Communication Networks," 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), Novosibirsk, Russia, 2018, pp. 191-195, doi: 10.1109/APEIE.2018.8545223.

14. Б.Б. Саидов, И. Саъдулло, Н.Б. Хусейнзода. Методы и результаты экспериментально-теоретического исследования систем связи 5G // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 23-27. doi:10.65599/QFAC8409

15. Б.Б. Саидов, И. Саъдулло, Н.Б. Хусейнзода. Применение нейросетевых методов прогнозирования радиосигналов в интеллектуальных системах связи 5G// Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 23-27. doi: 10.65599/BCWW3084

16. G. Talli and P. D. Townsend, "Hybrid DWDM-TDM long-reach PON for next-generation optical access," in Journal of Lightwave Technology, vol. 24, no. 7, pp. 2827-2834, July 2006, doi: 10.1109/JLT.2006.875952.

17. V. Telezhkin, B. Saidov. Integrated Information Processing in Wireless (Secure) Communications of Corporate Communication Systems // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. – Vladivostok, 2020. – P. 9271417. – DOI 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271417.

18. Зоидов, К. Х. Искусственный интеллект: возможности применения для контроля качества готовой продукции в текстильной промышленности / К. Х. Зоидов, А. А. Урунов, Б. А. Акрамов // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2021. – № 2(124). – С. 12-22. – DOI 10.26726/1812-7096-2021-2-12-22. – EDN UAMMYR.

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

TJ	RU	EN
Бахдавлатов Асратбек Давлатбекович	Бахдавлатов Асратбек Давлатбекович	Bakhdavlatov Asratbek Davlatbekovich
н.и.т.	к.т.н	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: bakhdavlatov@mail.ru		
TJ	RU	EN
Оламафрузи Давлахмад	Оламафрузи Давлахмад	Olamafruzi Davlahmad
Магистрант	Магистрант	Master's student
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: olamafruz01@mail.ru		
TJ	RU	EN
Ато Ато Раҳмон	Ато Ато Раҳмон	Ato Ato Rahmon
Магистрант	Магистрант	Master's student
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: atahrahman.04@gmail.com		

ШИФРОВАНИЯ ТЕКСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВИЖЕНЕРА

М.Х. Гафуров

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Данная работа представляет собой о разработке нового метода шифрования текстовых объектов для повышения информационной безопасности и защиты от киберпреступников (взломщиков, хакеров). Предлагаемый подход отходит от традиционного использования нумерации отдельных символов (униграмм) в алфавите шифрования. Вместо этого в качестве основы для создания уникального (частного) алфавита используются пронумерованные лингвистические элементы, такие как корни слов, слоги, а также биграммы и триграммы. Алгоритм подробно описывает процесс разделения открытого текста на эти элементы, их произвольной нумерацию, и последующее применение закрытого ключа (на примере шифра Виженера). Демонстрируется, что использование уникальных (частных), многокомпонентных алфавитов значительно увеличивает криптографическую стойкость зашифрованного текста. Предложенный метод шифрования носит универсальный характер в отношении своего применения к различным языкам, но его конкретная реализация и эффективность тесно зависят от грамматических и лингвистических особенностей того языка, на котором написан исходный текст.

Ключевые слова: объект, шифрование, зашифрование, расшифрование, частный алфавит, элемент, символ, ключ, вариант, стабильность, киберпреступность.

БАДАЛСОЗИИ УНСУРҲОИ МАТН БО ИСТИФОДАИ УСУЛИ ВИЖЕНЕР

М.Х. Гафуров

Мақолаи мазкур дар бораи таҳияи усули нави бадалсозии объектҳои матнӣ ҷиҳати беҳтар кардани амнияти иттилоотӣ ва муҳофизат аз киберҷинояткорон (қулфшиканон, ҳакерон) мебошад. Ҷараёни бадалсозии пешниҳодшуда аз истифодаи анъанавии рақамгузориҳои символҳои алоҳида (униграмҳо) дар алифбои бадалсозӣ сарфи назар мекунад. Ба ҷои он, унсурҳои забоншиносии (лингвистикӣ) рақамгузоришуда, аз қабилӣ калимаҳои решагӣ, пешоянду пасояндҳо, ҳиҷоъ аъзои пайрави ҷумла ва биграммаю триграммаҳо ҳамчун асос барои таҳияи алифбои хусусии (беназири) бадалсозӣ истифода мешаванд. Дар алгоритм раванди ба унсурҳо тақсим кардани матнӣ кушода, таҳияи алифбои хусусӣ, рақамгузориҳои унсурҳои он ва истифодаи минбаъдаи калиди ихтиёрии бадалсозӣ (бо истифода аз усули бадалсозии Вижнер дар мисоли объекти матнӣ кушода) муфасссал тасвир шудааст. Нишон дода шудааст, ки истифодаи алифбои хусусии таҳияшудаи бисёркомпонентии унсурҳояш ихтиёрӣ рақамгузоришуда устувории криптографии матнӣ бадалшударо хеле баланд мекунад. Усули бадалсозии пешниҳодшуда нисбати тадқиқи забонҳои гуногун характери универсалӣ дошта, истифодаи мушаххас ва самаранокӣ он ба хусусиятҳои хоси грамматика ва лингвистикаи он забоне, ки матнӣ додашуда иншо гардидааст алоқаи зич дорад.

Калидвожаҳо: объект, бадалсозӣ, бадалкунӣ, аксбадалкунӣ, алифбои хусусӣ, унсур, аломат, калид, вариант, устуворӣ, киберҷиноят.

ENCRYPTION OF TEXTUAL ELEMENTS USING THE VIGENÈRE METHOD

M.H. Gafurov

This work presents the development of a novel method for encrypting text objects to enhance information security and provide protection against cybercriminals (crackers, hackers). The proposed approach moves away from the traditional use of single-character (unigram) numbering in the encryption alphabet. Instead, it utilizes numbered linguistic elements-such as word roots, syllables, bigrams, and trigrams-as the foundation for creating a unique (private) alphabet. The algorithm details the process of decomposing plaintext into these elements, their arbitrary numbering, and the subsequent application of a private key (using the Vigenère cipher as an example). It is demonstrated that the use of unique, multi-component alphabets significantly increases the cryptographic strength of the ciphertext. While the proposed encryption method is universal in its applicability to various languages, its specific implementation and effectiveness are closely dependent on the grammatical and linguistic features of the source language.

Keywords: object, encryption, enciphering, deciphering, private alphabet, element, symbol, key, variant, stability, cybercrime.

Введение

В большинстве методов шифрования текстовых объектов используется последовательная нумерация символов стандартного алфавита языка. Этот процесс, начиная с древних времен (например, шифр Цезаря) и заканчивая некоторыми современными методами, применяет способ замены одного символа другим (**униграммное шифрование**). В таких методах каждый символ стандартного алфавита нумеруется, после чего на основе определенного правила создается

секретный ключ и осуществляется процесс шифрования. Данные подходы подробно рассмотрены в работах [1-14].

Использование мощных электронных устройств (суперкомпьютеров, квантовых компьютеров) позволяет киберпреступникам и заинтересованным лицам проводить **частотный анализ** символов текста и восстанавливать исходный (открытый) текст из зашифрованного.

Для решения вышеуказанной проблемы предлагается метод создания **индивидуального алфавита**, элементы которого извлекаются непосредственно из самого текста. Такой алфавит формируется уникально для каждого отдельного документа.

В научных источниках этот вопрос рассматривался следующим образом. В работах [15-18] изучена подготовка базы предлогов, послеслогов, морфологический анализ слов таджикского литературного языка и оценка использования биграмм. В работе [19] приведено использование униграмм, способ создания частного алфавита на их основе и разработка варианта произвольного закрытого ключа. В работе [20] рассмотрен способ создания уникального алфавита шифрования. В работе [21] описан метод шифрования текстового объекта с использованием элементов текста, где закрытый ключ создается **стохастическим способом**. В работах [22-24] рассмотрен метод шифрования текста с применением **шифра Полибия**, использующий элементы текста (корневые слова, предлоги, послеслоги), а также левосторонние биграммы и триграммы. В работах [25, 26] представлены матричные и операторно-матричные методы шифрования. В работе [27] описано создание ключей на основе элементов текста и многозначных чисел. В работе [28] рассматривается усовершенствование **метода Виженера**. В работе [29] изучено шифрование текстовых объектов с использованием стохастической нумерации их элементов.

Алгоритм решения задачи

На основе вышеупомянутых работ рассмотрим методы шифрования заданного открытого текстового объекта, элементы которого нумеруются стохастическим (произвольным) методом.

Алгоритм решения рассматриваемой задачи заключается в следующем.

1. Задается, создается или выбирается открытый текстовый объект на произвольном языке. Предположим, он выглядит следующим образом:

$$\mathcal{B} = \{b_i, i = \overline{1, n}; b_i \in \mathcal{B}\} \quad (1)$$

2. Открытый текст $\mathcal{B}$ разделяется на следующие группы в соответствии с морфологическим анализом языка текста:

а) элементы, состоящие из корневых слов, предлогов, послеслогов, аффиксов и остальных членов предложения;

б) элементы, состоящие из слогов и остальных членов предложения;

в) элементы, состоящие из N -грамм (биграмм, триграмм и т.д.).

3. Для обеспечения корректного восстановления структуры объекта при расшифровании (обратном преобразовании), перед началом процесса шифрования создается вспомогательный ключ K_1 . В нем все небуквенные знаки (символ абзаца, пробел, цифры и т.д.) заменяются символами из кодировок ASCII или Unicode, которые отсутствуют в исходном текстовом объекте. Для разграничения элементов зашифрованного объекта в пунктах **а)** и **б)** создается вспомогательный ключ K_2 , который сохраняет структуру разделенных элементов. Использование вспомогательных ключей является одним из уровней защиты текстового объекта.

4. Выбрав одну из групп (**а** или **б**) из пункта 2, разделяем исходный открытый текст на элементы согласно требованиям морфологического анализа. Затем, применяя первый вспомогательный ключ K_1 , представляем его в виде последовательности символов $\mathcal{B}_1 = F(\mathcal{B}, K_1)$, что считается первым уровнем защиты текстового объекта.

В случае разделения текстового объекта на N -граммы (биграммы, триграммы и т.д.), если в конце объекта они оказываются неполными, используется пустой символ (varnothing) для их дополнения. Поскольку структура N -грамм в исходном и зашифрованном объектах не меняется, вспомогательный ключ K_2 не применяется. Также при разделении текстового объекта на левосторонние N -граммы полностью используются все имеющиеся в нем символы, знаки и цифры.

5.Используя последовательность элементов в объекте $\mathcal{B1}$, формируем частное множество, состоящее из неповторяющихся элементов. Это множество используется в качестве **частного алфавита шифрования** для данного текстового объекта и имеет следующий вид:

$$F = \{b1_i, i = \overline{1, n}; b1_i \in \mathcal{B1}\} \quad (2)$$

6. Основной закрытый ключ преобразования K_a выбирается произвольно в зависимости от выбранного метода. В методе шифрования Виженера в качестве ключа может использоваться последовательность символов, знаков, цифр или их комбинация, также могут быть использованы слова. Пусть ключ имеет следующий вид:

$$K_a = \{a_j, j = \overline{1, n1}\} \quad (3)$$

7. Согласно требованиям пункта 2 алгоритма, основной закрытый ключ шифрования K_a разделяется на элементы в зависимости от выбранного способа. При необходимости к нему также применяются вспомогательные ключи $K1$ и $K2$. В результате ключ шифрования для текстового объекта, разделенного на элементы, принимает следующий вид:

$$K1_a = \{a1_j, j = \overline{1, m}\} \quad (4)$$

8. Элементы основного закрытого ключа шифрования $K1_a$, которые отсутствуют в частном алфавите, добавляются в него. Таким образом, мы получаем расширенный частный алфавит, который имеет следующий вид:

$$F1 = \{b1_{i+k}, i = \overline{1, n}; k = \overline{1, m}; b1_{i+k} \in \mathcal{B1} \cup K1_a\} \quad (5)$$

9. Элементы расширенного частного алфавита $F1$ нумеруются в произвольном порядке. Количество возможных вариантов нумерации алфавита $F1$ зависит от числа входящих в него элементов: чем их больше, тем выше криптостойкость зашифрованного объекта. Например, если через U обозначить варианты нумерации элементов в расширенном частном алфавите, то $U = (n+m)!$, что представляет собой ещё один уровень повышения защиты текстового объекта.

10. Используя выбранный произвольный закрытый ключ $K1_a$ и пронумерованные элементы расширенного частного алфавита $F1$, осуществляем зашифрование объекта $\mathcal{B1}$, состоящего из последовательности элементов, в соответствии с выбранным методом (метод Виженера). В результате получаем зашифрованный объект $\mathcal{B2} = F(\mathcal{B1}, K1_a)$. В методе Виженера элементы зашифрованного объекта определяются по следующей формуле:

$$c_i = b1_i + a1_i(\text{mod}(n + m)), \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

где, $b1_i$ - элементы исходного объекта в соответствии с их порядковыми номерами в частном алфавите шифрования; c_i - элементы зашифрованного объекта в соответствии с их порядковыми номерами в частном алфавите; $a1_i$ - элементы произвольно выбранного ключа в соответствии с их порядковыми номерами в частном алфавите; $(n + m)$ - период алфавита шифрования (общее количество элементов в расширенном частном алфавите).

11.Для расшифрования зашифрованного объекта $\mathcal{B2}$ в открытый объект $\mathcal{B}$ (законное расшифрования), имея доступ к основному и вспомогательным ключам, расширенному частному алфавиту с пронумерованными элементами и методу шифрования, достаточно выполнить вышеуказанные пункты в обратном порядке.

В методе Виженера для легального (законного) расшифрования зашифрованного объекта используется следующая формула:

$$b1_i = c_i - a1_i(\text{mod}(n + m)), \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

Решение задачи на примерах

Применим процесс шифрования текстовых объектов для трёх случаев разделения на элементы, используя метод Виженера.

1. Шифрования текстового объекта с использованием корневых слов и других элементов.

Пусть текстовый объект задан в следующем виде (рубаи Омара Хайяма):

$$\mathcal{B} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Гар як нафасат зи зиндагонӣ гузарад,} \\ \text{Мағзор, ки чуз ба шодмони гузарад.} \\ \text{Зинҳор ки сармояи ин мулки вучуд,} \\ \text{Умр асту чунон к – аш гузарони, гузарад.} \end{array} \right\} \quad (\text{A})$$

Теперь, основываясь на тексте объекта и согласно требованиям пункта 3 алгоритма, сформируем первый вспомогательный ключ, который примет следующий вид:

$$K1 = \{ ' \rightarrow z, \cdot \rightarrow g, \sim \rightarrow s, - \rightarrow f, \swarrow \rightarrow d \} \quad (8)$$

Применяя первый вспомогательный ключ $K1$ к объекту $\mathcal{B}$, разделим текст в соответствии с правилами грамматики таджикского языка на текстовые элементы - корневые слова, предлоги и послеслоги, аффиксы, второстепенные члены предложения и знаки пунктуации. Результат примет следующий вид:

$$\mathcal{B1} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Гар s як s нафас ат s зи s зинда гон й s гузар ад z d} \\ \text{Мағзор z s ки s чуз s ба s шод мо ни s гузар ад g d} \\ \text{Зинҳор s ки s сар моя и s ин s мулк и s вучуд z d} \\ \text{Умр s аст у s чун он s к f аш s гузар он и z s гузар ад g} \end{array} \right\} \quad (9)$$

Как видно, общее количество элементов в текстовом объекте $\mathcal{B1}$, представленном в виде последовательности, равно 70, при этом некоторые элементы повторяются несколько раз.

Используя текстовый объект $\mathcal{B1}$ и следуя требованиям пункта 4 алгоритма, сформируем один из вариантов **частного алфавита шифрования**. Элементы данного алфавита пронумеруем в произвольном порядке, как показано в Таблице 1.

Таблица 1 – Частный алфавит шифрования, состоящий из корневых слов и дополнительных элементов

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Гар	s	як	у	мулк	зи	зинда	гон	й	гузар	ад	чун	d

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Мағзор	ат	чуз	ба	шод	Умр	ни	g	он	нафас	к	и

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ин	ки	вучуд	мо	сар	z	Зинҳор	моя	f	аш	аст

Теперь для применения метода Виженера представим таблицу, состоящую из трёх строк, количество столбцов которой равно количеству элементов в объекте. В первую строку последовательно вносятся элементы исходного объекта. Во вторую строку циклически, до последней ячейки, вносятся элементы произвольно выбранного основного ключа.

Примечание. В качестве основного ключа может использоваться последовательность символов, знаков, цифр или их комбинация, а также отдельные слова. При разделении произвольного основного ключа на элементы те из них, которые отсутствуют в частном множестве (алфавите), добавляются в него и нумеруются. В этом случае созданный алфавит называется **расширенным частным алфавитом шифрования**.

В третьей строке размещаются элементы зашифрованного объекта, которые определяются согласно формуле (6).

Пусть произвольно выбранный основной ключ шифрования будет следующим:

$$K_a = \{ \text{ҳаёти осуда} \} \quad (10)$$

Затем разделим основной ключ на элементы - «ҳаёт, и, осуда». После применения первого вспомогательного ключа **K1** он примет следующий вид:

$$K_a = \{ \text{ҳаёт-и-с-осуда} \} \quad (10.1)$$

Из разделенных элементов ключа следует, что слова «ҳаёт» и «осуда» отсутствуют в частном множестве шифрования. Мы добавляем их в произвольные позиции частного алфавита шифрования, нумеруем их и получаем один из вариантов **пронумерованного расширенного частного алфавита шифрования** следующего вида (Таблица 2):

Таблица 2 – Расширенный частный алфавит шифрования, состоящий из корневых слов и дополнительных элементов

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Гар	s	як	у	мулк	зи	зинда	гон	й	гузар	ад	чун	d	ат

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
f	ҳаёт	чуз	ба	шод	Умр	ни	g	он	нафас	к	и	осуда

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
ин	ки	вучуд	мо	сар	z	Зинҳор	моя	Магзор	аш	аст

Из представленного варианта расширенного частного алфавита шифрования следует, что он состоит из 38 элементов. Это означает, что количество возможных вариантов нумерации элементов расширенного алфавита составляет **38! $\approx 5.23 \cdot 10^{44}$** , что существенно повышает криптостойкость системы.

Теперь, построив трехстрочную таблицу, приступим к зашифрованию заданного текстового объекта. Для зашифрования исходного текста будем использовать произвольно выбранный ключ (10.1), числовые значения элементов из Таблицы 2 и формулу (6). В результате имеем (Таблица 3):

Таблица 3 – Процесс зашифрования текстового объекта с использованием корневых слов

Гар	s	як	s	нафас	ат	s	зи	s	зинда	гон	й	s	гузар
ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и
чуз	ин	мулк	ки	s	s	y	z	ба	z	гузар	Магзор	ба	Магзор

ад	z	d	Магзор	z	s	ки	s	чуз	s	ба	s	шод	мо
s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда
d	g	ки	нафас	моя	ки	зинда	ин	шод	ки	Зинҳор	ин	ни	Умр

ни	s	гузар	ад	g	d	Зинҳор	s	ки	s	сар	моя	и
ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт
аш	ин	чун	аст	аст	Гар	Магзор	ки	зинда	ин	Зинҳор	нафас	у

s	ин	s	мулк	и	s	вучуд	z	d	Умр	s	аст	y	s	чун
и	s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда
ин	вучуд	ки	ни	ат	y	шод	ад	Гар	g	ки	ҳаёт	вучуд	y	Гар

он	s	к	f	аш	s	гузар	он	и	z	s	гузар	ад	g
ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и	s	осуда	ҳаёт	и
Гар	ин	осуда	y	f	ин	чун	чун	y	ни	y	аш	осуда	гузар

В процессе извлечения элементов третьей строки Таблицы 3, которые представляют собой текстовые элементы зашифрованного объекта, выполняются следующие действия: создается второй вспомогательный ключ **K2**, который необходим для сохранения структуры каждого зашифрованного

элемента в процессе расшифрования и при извлечении элементов третьей строки между ними вставляются символы из K_2 , которые не входят в состав частного алфавита.

Примечание. После завершения процесса расшифрования и извлечения элементов исходного объекта из третьей строки, символы второго вспомогательного ключа исключаются.

Пусть второй вспомогательный ключ имеет следующий вид:

$$K_2 = \{*, ?, /, !, \$, €\} \quad (11)$$

С учетом второго вспомогательного ключа, последовательно извлекая полученные элементы из ячеек третьей строки Таблицы 3, формируем текст зашифрованного объекта $\mathcal{B}_2 = F(\mathcal{B}_1; K_1, K_a, K_2)$, который принимает следующий вид:

$$\mathcal{B}_2 = \left\{ \begin{array}{l} \text{чуз * ин? мулк/ки! s\$s€y? z! ба€z * гузар/Магзор\$ба} \\ \text{* Магзор? d/g! ки€нафас? моя\$ки\$зинда/ин! шод€ки?} \\ \text{Зинхор\$ин? ни€Умр! аш\$ин? чун\$аст€аст\$Гар! Магзор} \\ \text{? ки\$зинда€ин/Зинхор! нафас? у\$ин/вучуд! ки€ни/ат} \\ \text{\$y? шод€ад? Гар! g\$ки€хаёт\$вучуд€y? Гар! Гар€ин\$} \\ \text{осуда? у/f€ин/чун! чун/у\$ни€y\$аш! осуда\$гузар} \end{array} \right\} \quad (12)$$

2. Шифрование текстового объекта с использованием слогов и других элементов

Рассмотрим второй случай шифрования заданного текстового объекта. В данном случае основными элементами являются **слоги**, а дополнительными - второстепенные члены предложения, знаки пунктуации и специальные символы.

В этом случае также применяется первый вспомогательный ключ (8) к заданному текстовому объекту, после чего слова, содержащиеся в нем, разделяются на слоги, т.е. имеем:

$$\mathcal{B}_3 = \left\{ \begin{array}{l} \text{Гар s як s на фа сат s зи s зин да го нй s гу за рад z d} \\ \text{Маг зор z s ки s чуз s ба s шод мо ни s гу за рад g d} \\ \text{Зин хор s ки s сар мо я и s ин s мул ки s ву чуд z d} \\ \text{Умр s ас ту s чу нон s к f аш s гу за ро ни z s гу за рад g} \end{array} \right\} \quad (13)$$

Общее количество элементов в текстовом объекте $\mathcal{B}_3$, представленном в виде последовательности, равно 80, при этом некоторые из них повторяются несколько раз.

На основе текстового объекта $\mathcal{B}_3$ сформируем частный алфавит шифрования. Элементы данного алфавита пронумеруем в произвольном порядке, как показано в Таблице 4.

Таблица 4 – Частный алфавит шифрования на основе слогов и дополнительных элементов

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
рад	ин	сат	як	ки	на	Зин	нй	за	го	хор	Маг	ни	чуз

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
s	гу	чу	и	шод	ба	сар	мул	чуд	z	зор	аш	Умр	d

29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
ро	Гар	мо	фа	ас	ту	зи	я	f	ву	нон	к	да	g

Теперь выберем произвольный основной ключ шифрования. Пусть он, как и прежде, будет $K_a = \{ \text{хаёти осуда} \}$. Разделим его на слоги: $K_a = \{ \text{ха-ё-ти} \sim \text{о-су-да} \}$. После применения первого вспомогательного ключа K_1 основной ключ примет следующий вид:

$$K_a = \{ \text{ха-ё-ти-s-о-су-да} \} \quad (14)$$

Из разделенных элементов ключа следует, что слоги «ҳа, ё, ти, о, су» отсутствуют в частном множестве шифрования. Добавляем их в произвольные позиции частного алфавита шифрования, нумеруем их и получаем один из вариантов **пронумерованного расширенного частного алфавита шифрования**, который представлен в Таблице 5.

Таблица 5 – Расширенный частный алфавит шифрования на основе слогов и дополнительных элементов

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
рад	ин	сат	як	ки	на	Зин	ҳа	нй	за	го	хор	Маг	ни	чуз	s

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ти	гу	чу	и	шод	ба	сар	мул	ё	чуд	z	зор	аш	Умр	d

32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
ро	о	Гар	мо	фа	ас	су	ту	зи	я	f	ву	нон	к	да	g

Из представленного варианта расширенного частного алфавита шифрования следует, что он состоит из 47 элементов. Таким образом, количество возможных вариантов нумерации этого алфавита составляет $47! \approx 2.59 \cdot 10^{59}$.

Для зашифрования заданного объекта, разделенного на элементы, используем произвольно выбранный основной ключ (14), числовые значения элементов из Таблицы 5 и формулу (6). Результаты вычислений приведены в Таблице 6.

Таблица 6 – Процесс зашифрования текстового объекта с использованием слогов

Гар	s	як	s	на	фа	сат	s	зи	s	зин	да	го	нй	s	гу
ҳа	ё	ти	s	о	су	да	ҳа	ё	ти	s	о	су	да	ҳа	ё
f	я	шод	ро	ту	мул	ин	мул	гу	о	сар	ро	ин	ҳа	мул	ву

за	рад	z	d	Маг	зор	z	s	ки	s	чуз	s	ба	s	шод	мо
ти	s	о	су	да	ҳа	ё	ти	s	о	су	да	ҳа	ё	ти	s
z	ти	Маг	ба	и	фа	ки	о	шод	ин	на	чуз	нй	я	су	як

ни	s	гу	за	рад	g	d	Зин	хор	s	ки	s	сар	мо	я	и	s
о	су	да	ҳа	ё	ти	s	о	су	да	ҳа	ё	ти	s	о	су	да
g	Зин	ти	гу	чуд	ти	g	зи	сат	чуз	Маг	я	зи	як	z	ти	чуз

ин	s	мул	ки	s	ву	чуд	z	d	Умр	s	ас	ту	s	чу
ҳа	ё	ти	s	о	су	да	ҳа	ё	ти	s	о	су	да	ҳа
за	я	я	шод	ин	Гар	ё	мо	нй	g	ро	сар	Умр	чуз	z

нон	s	к	f	аш	s	гу	за	ро	ни	z	s	гу	за	рад	g
ё	ти	s	о	су	да	ҳа	ё	ти	s	о	су	да	ҳа	ё	ти
ба	о	ни	зор	и	чуз	чуд	мо	ин	Умр	Маг	Зин	ти	гу	чуд	ти

С учетом второго вспомогательного ключа **K2**, последовательно извлекая полученные элементы из ячеек третьей строки Таблицы 6, формируем текст зашифрованного объекта $\mathcal{B}_4 = F(\mathcal{B}_3; K1, K_a, K2)$, который имеет следующий вид:

$$\mathcal{B}_4 = \left\{ \begin{array}{l} f\$я * шод! ро/ту? мул * ин/мул\$гу! о? сар * ро! ин/ \\ ҳа? мул * ву/z? ти\$Маг/ба! и * фа/ки! о? шод\$ин! на \\ * чуз/нй? я! су/як\$g! Зин * ти/гу? чуд! ти\$gёзи/сат \\ * чуз? Маг! яёзи\$як/z * ти! чуз? заёя\$я/шод * ин? Гар \\ ! ё\$мо/нй * g! ро? сар\$ Умр/чуз * zёба? о\$ни/зор! и * \\ чуз/чуд? мо/ин\$Умр * Маг? Зин\$ти/гу? чуд * ти \end{array} \right\} \quad (15)$$

3. Шифрование текстового объекта с использованием биграмм

Рассмотрим процесс шифрования текстового объекта с использованием биграмм. В данном случае также применяется первый вспомогательный ключ (8) к заданному текстовому объекту, после чего объект разделяется на левосторонние биграммы (последовательности из двух символов). В результате получаем объект **В5** следующего вида:

$$\mathbf{B5} = \begin{pmatrix} \text{Га ps як sn аф ac ат sz ис zi нд аг он йs гу за pa dz} \\ \text{dM аг зо pz sk ис чу zs ба ш од мо ни sg уз ар ад gd} \\ \text{Зи нх op sk ис са рм оя ис ин sm ул ки св уч уд zd Ум} \\ \text{ps ac ту сч ун он sk fa шs гу за ро ни zs гу за pa dg} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Общее количество элементов в текстовом объекте **В5**, представленном в виде последовательности биграмм, равно 72, при этом некоторые из элементов повторяются несколько раз.

На основе текстового объекта **В5** сформируем частный алфавит шифрования. Элементы данного алфавита пронумеруем в произвольном порядке, как показано в Таблице 7.

Таблица 7 – Частный алфавит шифрования на основе биграмм

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
нд	рм	fa	за	ps	од	св	ту	аф	зо	sm	ун	он	dM
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
sk	zs	ис	ин	гу	ат	шс	ор	ад	шs	ас	ро	як	Га
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
нх	ул	Зи	sn	pz	ни	оя	ра	аг	чу	Ум	сч	zs	мо
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
sz	ба	са	йs	sg	ки	уд	ар	gd	уч	dz	уз	zd	dg

Теперь выберем произвольный основной ключ преобразования. Пусть он, как и прежде, будет $K_a = \{ \text{хаёти осуда} \}$. Применим первый вспомогательный ключ (8) к основному ключу K_a и разделим его на левосторонние биграммы, в результате чего он примет следующий вид:

$$K_a = \{ \text{ха-ёт-ис-ос-уд-а} \} \quad (17)$$

В последнем элементе основного ключа K_a для завершения формирования левосторонней биграммы добавлен символ «а» - пустая позиция.

Из выделенных элементов ключа K_a следует, что биграммы «ха, ёт, ос, а» не были включены в предварительный частный алфавит шифрования. Мы добавляем их в произвольные позиции частного алфавита шифрования, нумеруем их и получаем один из вариантов **расширенного частного алфавита шифрования на основе биграмм**, представленный в Таблице 8.

Таблица 8 – Расширенный частный алфавит шифрования на основе биграмм

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
нд	рм	fa	за	ps	од	св	ёт	ту	аф	зо	sm	ун	он	dM
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
sk	zs	ис	ин	а	гу	ат	шс	ор	ад	шs	ас	ро	як	Га
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
нх	ул	Зи	sn	pz	ни	оя	ра	аг	ха	чу	Ум	сч	zs	мо
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
sz	ба	ос	са	йs	sg	ки	уд	ар	gd	уч	dz	уз	zd	dg

Общее количество элементов расширенного частного алфавита шифрования равно 60, а количество вариантов их нумерации составляет $60! \approx 8.32 \cdot 10^{81}$.

Для зашифрования данного объекта, разделенного на биграммы, используя произвольно выбранный основной ключ (17), номера элементов из Таблицы 8 и формулу (6), получаем результат, представленный в Таблице 9.

Таблица 9 – Процесс шифрования текстового объекта с использованием биграмм

Га	ps	як	sh	аф	ас	ат	s3	ис	зи	нд	аг	он	йс	гу	за	ра	dz
ха	ёт	ис	ос	уд	аø	ха	ёт	ис	ос	уд	аø	ха	ёт	ис	ос	уд	аø
аф	ун	ба	ат	fa	ба	pm	ар	ни	гу	ар	zd	ар	уз	аг	ки	нх	zs
dM	аг	зо	pz	sk	ис	чу	zs	ба	ssh	од	мо	ни	sg	уз	ар	ад	gd
ха	ёт	ис	ос	уд	аø	ха	ёт	ис	ос	уд	аø	ха	ёт	ис	ос	уд	аø
gd	ба	як	ssh	ту	pa	гу	ки	ps	зо	zd	ps	sk	zd	sk	Ум	ис	dM
Зи	нх	ор	sk	ис	са	pm	оя	ис	ин	sm	ул	ки	sv	уч	уд	zd	Ум
ха	ёт	ис	ос	уд	аø	ха	ёт	ис	ос	уд	аø	ха	ёт	ис	ос	уд	аø
ун	аг	Ум	за	зо	ту	Ум	мо	ни	sv	ps	ки	ул	dM	он	чу	ки	pm
ps	ас	ту	сч	ун	он	sk	fa	ssh	гу	за	po	ни	zs	гу	за	pa	dg
ха	ёт	ис	ос	уд	аø	ха	ёт	ис	ос	уд	аø	ха	ёт	ис	ос	уд	аø
мо	pz	ас	нх	од	sh	уч	зо	zs	ту	dz	ос	sk	ад	аг	ки	нх	аø

Последовательно извлекая полученные элементы из третьей строки Таблицы 9, получаем зашифрованный объект $\mathcal{B}_6 = F(\mathcal{B}_5; K_1, K_a)$, который принимает следующий вид:

$$\mathcal{B}_6 = \begin{cases} \text{афунбаатфабармарнигуарpzдарузагкинхзsg} \\ \text{dbаяксштурагукирpszozdpskzdsKУмисdMy} \\ \text{нагУмзазотуУммонисвpsкиулdМончукир} \\ \text{мморzasнходснучзозстудзоскадагкинхаø} \end{cases} \quad (18)$$

Из применения биграмм при зашифровании данного текстового объекта следует, что второй вспомогательный ключ K_2 для разделения элементов зашифрованного объекта не использовался. Действительно, при разделении зашифрованного объекта на левосторонние биграммы и их использовании в процессе расшифрования необходимость в разделительных символах отпадает, так как во всех случаях структура биграмм (N -грамм) остается неизменной, и зашифрованный объект легко и безошибочно разделяется на пары символов (левосторонние биграммы).

Для восстановления зашифрованных объектов к исходному (процесс законного расшифрования) во всех трёх случаях пункта 2, согласно пункту 11 алгоритма, достаточно получить основные и вспомогательные ключи (для подпунктов а) и б) - основные ключи K_a и вспомогательные K_1, K_2 ; для подпункта в) - основные ключи K_a и вспомогательный K_1), нумерованный расширенный частный алфавит и метод шифрования, а затем выполнить вышеуказанные пункты в обратном порядке (от конца к началу).

Закключение

1. Предложенный метод шифрования имеет универсальный характер с точки зрения применимости к различным языкам, однако его конкретная реализация и эффективность тесно связаны с грамматическими и лингвистическими особенностями языка, на котором написан исходный текст.

Универсальность метода проявляется в следующем:

Произвольный язык текста. Алгоритм шифрования начинается с предоставленного открытого текстового объекта $\mathcal{B}$, который может быть представлен на любом языке.

Использование адаптируемого алфавита. В предложенном методе используется частный алфавит шифрования, который включает в себя все символы и элементы, присутствующие в языке данного открытого текстового объекта.

Лингвистические элементы как основа. Вместо традиционного использования только одиночных символов (униграмм), метод основан на использовании языковых элементов. Эти элементы (корни слов, префиксы и суффиксы, аффиксы, слоги, биграммы, триграммы и

второстепенные члены предложения) являются общими лингвистическими категориями, существующими во многих языках. Таким образом, концептуально метод универсален, так как использует гибкий и адаптируемый алфавит, состоящий из элементов языка, применимых независимо от того, о каком языке идет речь.

2. Зависимость от грамматических особенностей. Хотя метод можно применить к любому языку, его реализация напрямую зависит от грамматических характеристик конкретного языка.

Разделение на языковые элементы. Процесс шифрования требует, чтобы текстовый объект *В* был разделен на группы элементов. Эти группы включают: - корни слов и дополнительные элементы (префиксы, суффиксы, аффиксы, второстепенные члены предложения); - слоги и дополнительные элементы; - биграммы или триграммы (*N*-граммы).

Для успешной шифрования необходимо правильно выделить (идентифицировать) эти лингвистические элементы.

3. На примере таджикского языка показано, как таджикский текст (рубайи Омара Хайяма) разделяется на конкретные морфологические компоненты.

Поскольку метод шифрования основан не на простых буквах, а на нумерации и замене именно лингвистических элементов, для его использования в конкретных случаях (например, для русского, английского или таджикского языков и др.) необходимо наличие инструментов (например, компьютерных программ, упомянутых в источниках). Эти инструменты должны позволять правильно определять и группировать такие элементы, как аффиксы, корни и слоги, в соответствии с правилами данного языка.

Таким образом, метод универсален по своей структуре, но его практическая реализация требует специальной лингвистической обработки исходного текста, основанной на грамматических и морфологических особенностях его языка.

4. Преимуществом предложенного метода является разработка частного алфавита, элементы которого нумеруются произвольно и извлекаются непосредственно из исходного текста. Процесс создания такого частного алфавита и способ его произвольной нумерации способствуют повышению стойкости шифрования текста.

Низкая вероятность несанкционированного расшифрования (дешифрования) при использовании языковых элементов в качестве основы для замены приводит к созданию зашифрованного объекта, стойкость которого можно выразить через крайне низкую вероятность незаконного доступа. Анализ показателей математической стойкости для шифрования текстового объекта *В* представлен в следующей таблице (Таблица 10):

Таблица 10 – Анализ сравнительных математических показателей стойкости

Тип лингвистической единицы	Количество элементов алфавита (n)	Количество вариантов нумерации (n!)	Количество элементов объекта	Вероятность незаконного дешифрования
Корни слов и дополнительные элементы	38	$\approx 5.23 \cdot 10^{44}$	70	$\approx 1.2 \cdot 10^{-100}$
Слоги и дополнительные элементы	47	$\approx 2.59 \cdot 10^{59}$	80	$\approx 7.16 \cdot 10^{-118}$
Биграммы	60	$\approx 8.32 \cdot 10^{81}$	72	$\approx 6.12 \cdot 10^{-103}$

Как видно из таблицы, переход к более крупным единицам (от корней к биграммам) увеличивает размер алфавита с 38 до 60, что приводит к колоссальному росту числа вариантов нумерации. Вероятность дешифрования (например, 10^{-118}) настолько мала, что в криптографии это считается «абсолютной безопасностью» по отношению к прямым атакам (полному перебору или brute-force). Основное преимущество заключается в том, что стойкость обеспечивается не только за счет длины ключа, но и за счет лингвистической структуры исходного текста.

5. Одной из важных задач является передача минимально необходимых данных в адрес расшифрователя с использованием закрытых (секретных) и открытых каналов электронной связи.

Известно, что зашифрованный объект передается по открытым каналам связи. По дорогостоящей закрытой связи должны передаваться: частный алфавит с пронумерованными элементами, основные и вспомогательные ключи, а также метод шифрования.

Из данных, приведенных в Таблице 10, следует, что количество элементов частного алфавита вместе с элементами основных и вспомогательных ключей всегда меньше количества элементов открытого объекта. В случае большого объема открытого объекта этот показатель увеличивается в несколько раз. В связи с этим, с экономической точки зрения, использование данного метода считается выгодным.

Рецензент: Мирзоев С.Х. – д.т.н., профессор кафедры информатики Таджикского национального университета.

Литература

1. Басалова Г.В. Основы криптографии. Тула: Изд-во Тульского государственного университета, 2009.
2. Бернет С., Пэйн С. Криптография. Официальное руководство RSA Security. М.: Бином, 2007.
3. Яценко В.В. Введение в криптографию. М.: МЦНМО: «ЧеРо», 2000.
4. Зубов А.Ю. Криптографические методы защиты информации. Совершенные шифры. М.: Гелиос АРВ, 2005.
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. Романец Ю.В., Тимофеев П.А., Шаньгин В.Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. М.: Радио и связь, 2001.
8. Рябко Б.Я., Фионов А.Н. Криптографические методы защиты информации. М.: Горячая линия-Телеком, 2005.
9. Шнайер Б., Фергюсон Н. Практическая криптография. М.: Диалектика, 2005.
10. Шеннон К. Теория связи в секретных системах. Сборник «Работы по теории информации и кибернетике». М., ИЛ, 1963. С. 333-369.
11. Сингх С. Книга шифров. Тайная история шифров и их расшифровки. М.: Аст, Астрель, 2006. 447 с.
12. Бауэр Ф. Расшифрованные секреты. Методы и принципы криптологии. М.: Мир, 2007. 550 с.
13. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. М.: Триумф, 2003. 806 с.
14. Алферов А.П., Зубов А.Ю., Кузьмин А.С., Черемушкин А. В. Основы криптографии. М.: Гелиос АРВ, 2001. 479 с.
15. Усманов З.Д. О формировании базы префиксов таджикского литературного языка. / З.Д. Усманов, Г.М. Довудов // Доклады АН Республики Таджикистан. 2009, т. 52, № 6. С.431-436.
16. Усманов З.Д. О множестве постфиксов таджикского литературного языка. / З.Д. Усманов, О.М. Солиев, Г.М. Довудов // Доклады АН Республики Таджикистан. 2009, т. 53, № 2. С.99-103.
17. Усманов З.Д. Морфологический анализ словоформ таджикского языка: монография. / З.Д. Усманов, Г.М. Довудов / Душанбе: «Дониш», 2015. – 130 с.
18. Косимов А.А. Оценка эффективности использования триграмм при идентификации текста. / А.А. Косимов // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2017. № 1 (166). С. 51-57.
19. Гафуров, М. Х. Бадалсозии объекти матнӣ бо истифодаи символҳои забон / М. Х. Гафуров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2020. № 4(52). Р. 31-35.
20. Гафуров, М. Х. Об одном способе разработки уникальных вариантов алфавита шифрования / М. Х. Гафуров, А. А. Косимов, А. Абдукарим // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. № 1 (57). С. 47-50.
21. 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.
22. Гафуров, М. Х. Операторное применение шифрования элементов языка с квадратом Полибея / М. Х. Гафуров // Вестник Технологического университета Таджикистана. 2024. № 1 (56). С. 159-164.
23. Гафуров, М. Х. Применение биграмм и триграмм при шифровании объекта с использованием квадрата Полибея / М. Х. Гафуров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2024. № 1 (65). С. 72-75.
24. Гафуров, М. Х. Применение биграмм в шифровании текстовых объектов с использованием квадрата Полибея и двойного ключа / М. Х. Гафуров, Р. Б. Гиссов // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2025. № 3(200). С. 59-66.
25. 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.

26. Гафуров, М. Х. Применение матричных и оператор-матричных методов при шифровании текстового объекта с использованием биграммы и триграммы / М. Х. Гафуров // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2025. № 2. С. 23-32.

27. Гафуров, М. Х. Применение биграмм, триграмм и многозначных чисел при разработке ключа шифрования текстового объекта / М. Х. Гафуров, М. А. Тоирова // Доклады Национальной академии наук Таджикистана. 2025. Т. 68, № 5. С. 445-451.

28. Гафуров, М. Х. Такмили усули Вижерен дар бадалсозии объектҳои матнӣ / М. Х. Гафуров // Паёми политехникӣ. Бахши: Интеллект, Инноватсия, инвестиция. 2025. № 2(70). Р. 67-71.

29. 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.

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

TJ	RU	EN
Гафуров Миршафи Хамитович	Гафуров Миршафи Хамитович	Gafurov Mirshafi Hamitovich
Номзади илмҳои техникӣ, дотсент	Кандидат технических наук, доцент	Candidate of technical sciences, associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: mirugaf56@gmail.com		

УСУЛИ АФЗОИШИ ДОДАҶОИ СИНТЕТИКӢ БО ИСТИФОДА АЗ МОДЕЛҶОИ ДИФФУЗИОНӢ БАРОИ БАЛАНД БАРДОШТАНИ УСТУВОРИИ СИСТЕМАҶОИ БИОМЕТРӢ ДАР МУҲИТИ ТАЪЛИМӢ

Ш.Ф. Муҳамедова, Ҳ.Б. Шарипов

Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон

Дар мақола усули нави афзоиши семантикии додаҳо дар асоси моделҳои эҳтимолии диффузионӣ пешниҳод шудааст. Модули барномавӣ дар асоси фреймворки Django ва китобхонаи Diffusers таҳия шудааст, ки техникаи Image-to-Image-ро бо истифода аз модели Stable Diffusion v1.5 амалӣ месозад. Хусусияти асосии метод ин оптимизатсияи математикии параметри «strength» (қувваи тағйирёбӣ) ва истифодаи занҷирҳои Марков барои таълиди намунаҳои фотореалистии чеҳраи донишҷӯён бидуни гум кардани ҳувиати биометрии онҳо мебошад. Санҷиши таҷрибавӣ дар маҷмӯи додаҳои иборат аз 500 донишҷӯ самаранокӣ баланди равиши пешниҳодшударо нишон дод. Омӯзиши модели ResNet-50 дар асоси додаҳо имкон дод, ки дақиқии шинохт дар шароити торикӣ аз 72.3% то 89.4% баланд бардошта шавад. Тадқиқот собит месозад, ки зехни сунъии генеративӣ қодир аст мушкилоти норасоии додаҳоро самаранок ҳал намуда, хароҷотро барои ҷамъоварии аксҳои воқеӣ сарфа намояд ва устувории умумии системаҳои амниятиро таъмин кунад.

Калидвожаҳо: шинохти компютерӣ, Stable Diffusion, шинохти чеҳра, занҷири Марков, фазои ниҳонӣ, зехни сунъӣ.

МЕТОД АУГМЕНТАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИФФУЗИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

Ш.Ф. Мухамедова, Х.Б. Шарипов

В данной статье предлагается новаторский метод семантической аугментации данных, основанный на использовании вероятностных диффузионных моделей. Разработан программный модуль на базе фреймворка Django и библиотеки Diffusers, реализующий технику Image-to-Image с использованием модели Stable Diffusion v1.5. Ключевой особенностью метода является математическая оптимизация параметра «strength» (сила трансформации) и использование марковских цепей для генерации фотореалистичных вариаций лиц студентов без потери их биометрической идентичности. Экспериментальная проверка, проведенная на наборе данных из 500 студентов, показала высокую эффективность предложенного подхода. Обучение модели ResNet-50 на основе данных позволило повысить точность распознавания в условиях низкой освещенности с 72.3% до 89.4%. Исследование подтверждает, что генеративный искусственный интеллект способен эффективно решать проблему нехватки данных, обеспечивая экономию ресурсов на сбор реальных фотографий и повышая общую устойчивость систем безопасности.

Ключевые слова: компьютерное зрение, Stable Diffusion, аугментация данных, распознавание лиц, цепь Маркова, скрытое пространство, искусственный интеллект.

METHOD OF SYNTHETIC DATA AUGMENTATION USING DIFFUSION MODELS TO ENHANCE THE ROBUSTNESS OF BIOMETRIC SYSTEMS IN AN EDUCATIONAL ENVIRONMENT

Sh.F. Mukhamedova, H.B. Sharipov

This paper presents a novel method for semantic data augmentation based on probabilistic diffusion models. A software module has been developed based on the Django framework and the Diffusers library, implementing the Image-to-Image technique using the Stable Diffusion v1.5 model. A key feature of the method is the mathematical optimization of the "strength" parameter (transformation strength) and the utilization of Markov chains to generate photorealistic variations of students' faces while preserving their biometric identity. Experimental validation conducted on a dataset of 500 students demonstrated the high effectiveness of the proposed approach. Training the ResNet-50 model using the augmented data improved recognition accuracy in low-light conditions from 72.3% to 89.4%. The study confirms that generative artificial intelligence can effectively address the problem of data scarcity, thereby saving resources on the collection of real photographs and enhancing the overall robustness of security systems.

Keywords: computer vision, Stable Diffusion, data augmentation, face recognition, Markov chain, latent space, artificial intelligence.

Муқаддима

Дар шароити муосир, татбиқи системаҳои биометрӣ барои идоракунии равандҳои таълим ва таъмини амният дар муассисаҳои таҳсилоти олӣ аҳамияти хоса пайдо кардааст. Самаранокӣ алгоритмҳои муосири шинохти чеҳра, аз қабili FaceNet ё ArcFace, ба таври мустақим аз ҳаҷм ва гуногуншаклии маҷмӯи додаҳо вобаста аст. Тавре ки С.З. Ли, А.К. Чейн ва Ч. Денг дар асари бунёдии худ "Handbook of Face Recognition" таъкид мекунад [1], мушкилоти асосии системаҳои воқеӣ ин

“domain gap” ё тафовут байни додаҳои идеалӣ ва додаҳои воқеии дорои ихтилоот, рӯшноии паст ва монеаҳо мебошад. Ин тафовут боиси коҳиши назарраси дақиқии шинохт дар шароити ғайристандартӣ мегардад.

Усулҳои анъанавии афзоиши маълумот, ки солҳои тӯлонӣ истифода мешуданд, қобилияти эҷоди иттилооти нави семантикиро надоранд. Ин маҳдудият зарурати истифодаи моделҳои генеративии эҳтимолиро ба миён меорад. Дар ин тадқиқот, мо истифодаи моделҳои диффузиониро пешниҳод менамоем. Тибқи таҳқиқоти М. Лю [2] моделҳои диффузионӣ, бархилофи шабакаҳои рақибии тавлидкунанда (GANs), раванди омӯзиши устувортар доранд ва қобилияти тавлиди намунаҳои баландсифатро тавассути идоракунии равандҳои стохастикӣ дар фазои пинҳонӣ таъмин мекунанд. Барои асосноккунии илмии усули пешниҳодшуда, механизми тавлиди тасвирҳои синтетикӣ тавассути алгоритмҳои математикӣ тавсиф карда мешавад.

Мавод ва усулҳои тадқиқот

Раванди диффузия ҳамчун занҷири Марковии баръаксшаванда моделсозӣ карда мешавад. Агар x_0 тасвири аслии донишҷӯ аз тақсимои $q(x_0)$ бошад, раванди мустақим ба он тадриҷан матритсаи Гауссӣ илова мекунанд. М. Аршад Сиддиқӣ дар китоби “Mastering Computer Vision with PyTorch 2.0” [3] нишон медиҳад, ки тақсимои шартӣ барои қадами t чунин навишта мешавад:

$$q(x_t|x_{t-1}) = \mathcal{N}(x_t; \sqrt{1 - \beta_t}x_{t-1}, \beta_t \mathbf{I}) \quad (1)$$

дар ин ҷо β_t чадвали дисперсия мебошад. Бо истифода аз хосияти такроршавандагии тақсимои Гауссӣ, мо метавонем x_t -ро дар дилхоҳ қадам бевосита аз x_0 ҳосил кунем [3]:

$$q(x_t|x_0) = \mathcal{N}(x_t; \sqrt{\alpha_t}x_0, (1 - \alpha_t)\mathbf{I}) \quad (2)$$

ки дар он $\alpha_t = 1 - \beta_t$ ва $\bar{\alpha}_t = \prod_{s=1}^t \alpha_s$. Формулаи мазкур асоси афзоиши додаҳоро ташкил дода, тасвири аслӣ ба сатҳи муайяни ихтилооти тасвир оварда шуда, сипас аз нав барқарор гардад.

Дар системаи таҳияшуда мо усули Image-to-Image-ро истифода мебарем. Ин усул, бархилофи усули стандартӣ, ки аз сифр ё ихтилооти тасвири холис (x_T) оғоз меёбад, барои ҳифзи сохтори аслии чехра истифода мешавад. О. Сансевиеро ва ҳаммуаллифон [4] ин усулро ҳамчун роҳи самараноки назорат кардани мундариҷаи тасвир тавсиф мекунанд. Агар s параметри қувваи тағйирёбӣ бошад, ҳолати ибтидоии пинҳонӣ z_{start} чунин муайян мешавад:

$$z_{start} = \sqrt{\bar{\alpha}_s}\mathcal{E}(x_0) + \sqrt{1 - \bar{\alpha}_s}\epsilon, \quad \epsilon \sim \mathcal{N}(0, \mathbf{I}) \quad (3)$$

дар ин ҷо $\mathcal{E}$ функсияи рамзгузори модели VAE мебошад [4]. Ин формула кафолат медиҳад, ки тасвири ниҳонӣ x'_0 ба тасвири аслӣ x_0 монандӣ бошад, аммо дорои атрибутҳои нав (масалан, айнак ё рӯшноии дигар) мебошад.

Барои ворид намудани шартҳои семантикӣ (масалан, “low light”, “glasses”), мо аз механизми раванди баръакс ва диққати мутақобила истифода мебарем. Тибқи шарҳи Д. Ротман [5], блоки таваҷҷӯҳи байниҳамдигарӣ дар моделҳои диффузионӣ ба шабака имкон медиҳад, ки иттилооти матнро ба хусусиятҳои фазоии тасвир ҳамгиро кунад:

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d}}\right)V \quad (4)$$

Дар модели мо, Q аз хусусиятҳои тасвири фосилавӣ ва K, V аз тавсифи матнӣ ҳосил мешаванд. Ин имкон медиҳад, ки модел “диққат”-и худро ба илова кардани айнак ё тағйири рӯшноӣ равона кунад, бидуни вайрон кардани геометрияи умумии чехра.

Дар асоси моделҳои математикии болозикр, модули нармфзорӣ дар муҳити Python ва Django таҳия карда шуд. Меъмории система истифодаи китобхонаи diffusers-ро барои кор бо модели StableDiffusionImg2ImgPipeline дар назар дорад. Яке аз ҷанбаҳои муҳимтарини татбиқи амалӣ ин интиҳоби дурусти параметри қувваи тағйирёбӣ мебошад. Таҷрибаҳои мо ва таҳлилҳои Д.В. Годой дар китоби “Deep Learning with PyTorch” [6] нишон медиҳанд, ки қимати $s \approx 0.4$ нуқтаи оптималӣ аст.

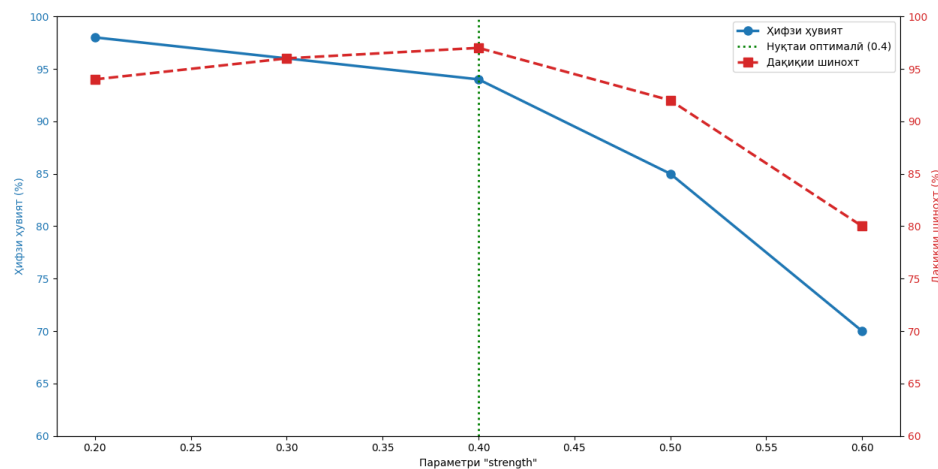
Барои муайян кардани қимати дақиқи оптималии параметри «strength», мо таҳлили муфассал гузаронидем. Дар Чадвали 2 натиҷаҳои таъсири ин параметр ба ҳифзи хувият ва сифати визуалии тасвирҳо оварда шудаанд.

Ҷадвали 1 – Таъсири параметри "strength" ба сифат ва ҳифзи ҳувиат

Қимати strength	Ҳифзи ҳувиат, %	Сифати визуалӣ	Тавсия
0.2	98	Паст	Барои тағйироти хурд
0.3	96	Миёна	Барои тағйироти муътадил
0.4	94	Баланд	Қимати оптималӣ
0.5	85	Баланд	Хатари тағйири ҳувиат
0.6	70	Хеле баланд	Ҳувиат тағйир меёбад

Ҷадвали 1 нишон медиҳад, ки бо зиёд шудани параметри strength сифати визуалии тасвир беҳтар мешавад, вале ҳифзи ҳувиат коҳиш меёбад. Қимати 0.4 ҳамчун нуқтаи оптималӣ муайян карда шуд, зеро дар ин ҳолат ҳифзи ҳувиат 94% -ро ташкил медиҳад ва сифати визуалӣ барои истифода дар системаҳои биометрӣ қобили қабул аст.

Барои равшантар нишон додани вобастагии байни параметр ва нишондиҳандаҳо, дар Расми 1 хатҳои тағйирёбии ҳифзи ҳувиат ва дақиқӣ оварда шудаанд. Нуқтаи оптималӣ дар қимати 0.4 бо хати тирезавӣ нишон дода шудааст.



Расми 1 – Таъсири параметри "strength" ба дақиқӣ ва ҳифзи ҳувиат

Дар Расми 1 равшан дида мешавад, ки ҳангоми гузаштан аз 0.4 ба 0.5, хати ҳифзи ҳувиат шиддатан поин меравад. Ин нуқта тасдиқ мекунад, ки риояи ҳадди оптималии 0.4 барои нигоҳ доштани ҳувиати биометрӣ зарур аст. Агар $s > 0.6$ бошад, модел ба омӯзиши тахайюлӣ оғоз карда, хусусиятҳои биометрии шахсро тағйир медиҳад, ки ин боиси хатогӣ дар шинохти минбаъда мегардад. Барои амалӣ намудани ин раванд, мо функсияи generate_synthetic_variants-ро дар лоиҳа эҷод намудем. Ин функсия барои нигоҳ доштани ҳувиати донишҷӯ ва ҳамзамон илова кардани хусусиятҳои нав масъул аст.

Коди иҷрошавандаи алгоритм чунин аст:

```
import torch
import random
from io import BytesIO
from diffusers import StableDiffusionImg2ImgPipeline
from PIL import Image

def generate_synthetic_variants(pil_image, count=1):
    generated_images = []
    for _ in range(count):
        # Интихоби тасодуфии сценария
        scenario = random.choice(scenarios)
        prompt = f"photo of a university student, {scenario}, realistic, 8k"
        # Generator барои такроршавандагии натиҷаҳо
```

```

generator = torch.Generator(device=device).manual_seed(random.randint(0, 100000))
# Раванди тавлид (Inference)
# Strength=0.4: Ин нуқтаи муҳимтарини алгоритм аст.
# Қимати 0.4 кафолат медиҳад, ки чеҳра тағйир намеёбад, танҳо муҳит дигар мешавад.
image = pipe(
    prompt=prompt,
    image=init_image,
    strength=0.4,
    guidance_scale=7.5,
    generator=generator
).images[0]
generated_images.append(image)
return generated_images

```

Дар ин код ду ҷанбаи муҳими технологӣ ба инобат гирифта шудааст. Якум, интихоби параметри $strength = 0.4$. Таҷрибаҳои мо ва тавсияҳои Сансевиеро [4] нишон медиҳанд, ки агар ин қимат аз 0.5 боло равад, модели диффузионӣ ба "омузиши тахайюлӣ" оғоз карда, хусусиятҳои биометрии шахсро (масофаи байни чашмҳо, шакли бинӣ) тағйир медиҳад, ки ин барои системаи шинохт қобили қабул нест. Қимати 0.3-0.4 тавозуни оптималӣ байни нигоҳ доштани ҳувиат ва эҷоди гуногунии визуалӣ мебошад. Дуюм, истифодаи Prompt Engineering барои сохтани сценарияҳои мушаххас, ки маҳз ҳамон ҳолатҳоеро тақлид мекунанд, ки дар онҳо камераҳои назоратӣ одатан хато мекунанд.

Барои иҷрои ин раванд дар муҳити Web барои корбар, аз механизми бисёрриштагӣ (multithreading) истифода шуд. Ҷ. Ҳоуз ва дигарон дар китоби худ [7] оид ба лоиҳаҳои OpenCV тавсия медиҳанд, ки амалиётҳои вазнини коркарди тасвир бояд аз ҷараёни асосии интерфейс ҷудо карда шаванд, то суръати посухдиҳии система коҳиш наёбад.

```

@login_required
def generate_images_view(request, image_id):
    if request.method == "POST":
        original_image = get_object_or_404(EmployeeImage, id=image_id)
        # Оғози риштаи мустақил барои пешгирии басташавии UI
        task_thread = threading.Thread(
            target=run_generation_thread,
            args=(image_id,),
            daemon=True
        )
        task_thread.start()
        messages.info(request, "Раванди эҷоди тасвирҳои корбар оғоз шуд.")
    return redirect('manage_images', profile_id=original_image.profile.id)

```

Ин модули ба системаи идоракунии профили корбарон дар Django пайваست карда шудааст ва имкон медиҳад, ки барои ҳар як донишҷӯ ба таври худкор маҷмӯи тасвирҳои синтетикӣ эҷод карда шавад.

Натиҷаҳо

Барои санҷиши самаранокии усул, таҷриба дар пойгоҳи додаҳои воқеии иборат аз 500 донишҷӯ гузаронида шуд. Модели шинохти ResNet-50 дар ду ҳолат омӯзонида шуд:

- (А) Танҳо бо аксҳои аслӣ (Baseline).
- (Б) Бо иловаи аксҳои синтетикӣ (Augmented).

Баҳодиҳии сифати тасвирҳо ва дақиқии шинохт бо истифода аз метрикаҳои стандартӣ, ки дар китоби Т. Бурлай [8] тавсиф шудаанд, гузаронида шуд. Бурлай қайд мекунад, ки устувории система дар спектрҳои гуногуни тасвир (масалан, намоён ва инфрасурх ё шароити рӯшноии паст) меъёри асосии сифат аст. Натиҷаҳо нишон доданд, ки дар сценарияи «Рӯшноии паст», дақиқии шинохт аз 72.3% то 89.4% афзоиш ёфт [11, 12].

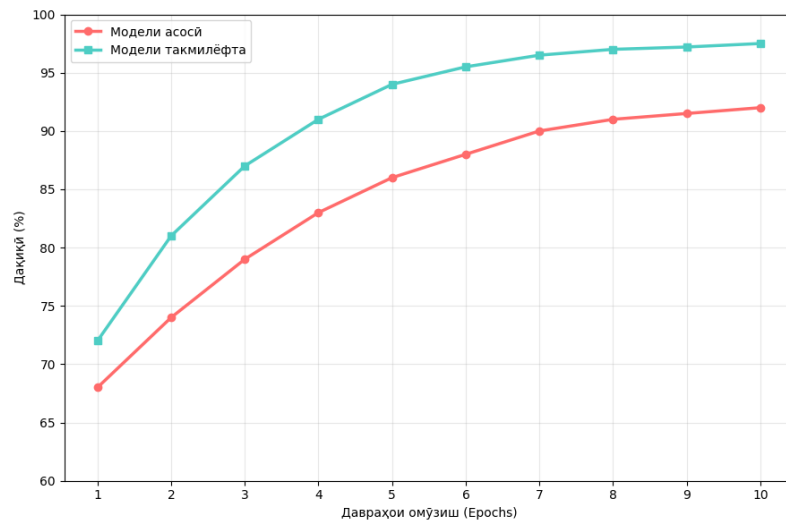
Дар Ҷадвали 2 натиҷаҳои муқоисавии ду модел дар панҷ сценарияи гуногун оварда шудаанд. Ин сценарияҳо маҳз он ҳолатҳоро инъикос мекунанд, ки дар амалияи воқеӣ боиси коҳиши дақиқии системаҳои биометрӣ мегарданд.

Ҷадвали 2 – Муқоисаи дақиқии шинохт дар шароитҳои гуногун

№	Ҳолат	Дақиқии модели асосӣ, %	Дақиқии модели такмилёфта, %	Афзоиш, %
1	Рӯшноии муътадил	96.8	97.2	+0.4
2	Рӯшноии паст	72.3	89.4	+17.1
3	Мавҷудияти айнак	88.5	94.1	+5.6
4	Кунҷи қач	85.2	91.8	+6.6
5	Соя	79.4	88.7	+9.3

Тавре ки дар Ҷадвали 2 нишон дода шудааст, дар ҳамаи шароитҳо модели такмилёфта натиҷаи беҳтар нишон медиҳад. Беҳтарин афзоиш дар шароити «рӯшноии паст» ба қайд гирифта шудааст (17.1%), ки ин нишон медиҳад, ки усули пешниҳодшуда маҳз дар шароити душвортарин самараноктар амал мекунад.

Барои таҳлили раванди омӯзиш, мо динамикаи тағйирёбии дақиқиро дар тӯли давраҳои омӯзиш (epochs) омӯхтем. Расми 2 ин динамикаро нишон медиҳад.



Расми 2 – Динамикаи беҳбудии дақиқӣ дар раванди омӯзиш

Тавре ки аз Расми 2 дида мешавад, модели такмилёфта на танҳо дақиқии ниҳиии баландтар дорад, балки суръати омӯзиши он низ тезтар аст. Дар давраи 3-юм, дақиқии модели такмилёфта ба 87% мерасад, дар ҳоле ки модели асосӣ танҳо 79% -ро ташкил медиҳад.

Муҳокима

Натиҷаи бадастомада (афзоиши 17.1% дар шароити душвор) собит мекунад, ки ғанигардонии семантикии додаҳо тавассути моделҳои диффузионӣ қобилияти умумикунони системаро ба таври назаррас беҳтар мекунад. Бар хилофи усулҳои оддии тағйирдиҳии геометрӣ, усули пешниҳодшуда ба шабакаи нейронӣ имкон медиҳад, ки хусусиятҳои инвариантии чехраро дар шароитҳои гуногуни рӯшноӣ ва атрибутӣ (масалан, айнак) дурусттар дарк намояд [13].

Хулоса

Ҳамин тавр, дар мақола усули нави афзоиши додаҳои биометрӣ бо истифода аз моделҳои диффузионӣ ва таҳлили фазои пинҳонӣ пешниҳод ва амалӣ карда шуд. Таҳлилҳои назариявӣ ва татбиқи амалӣ собит намуданд, ки идоракунии дақиқи равандҳои стохастикӣ дар модели Stable Diffusion имкон медиҳад, ки мушкили норасоии додаҳо дар муассисаҳои таълимӣ самаранок ҳал карда шавад [14]. Истифодаи ин технология на танҳо дақиқии системаҳои амниятиро баланд

мебардорад, балки зарурати чамъовариҳои ҳисобии ҳазорҳо аксҳои иловагиро аз байн бурда, ҳароҷоти иқтисодӣ ва вақтиро коҳиш медиҳад [15].

Муқаррир: Шерматов Ш.М. – н.и.ф.-м., дотсенти қабзаи МПМ ва ПИ-и МДП ДДХ ба номи академик Ё. Ғафуров.

Адабиёт

1. Li S. Z., Jain A. K., Deng J. (Eds.). Handbook of Face Recognition. 3rd ed. – Springer, 2024. – 473 p. - C. 69-74.
2. Liu M. Learn Generative AI with PyTorch. – Manning Publications, 2024. – 350 p. - C. 15-18.
3. Siddiqui M. A. Mastering Computer Vision with PyTorch 2.0. – Orange Education Pvt Ltd, 2025. – 330 p. - C. 330.
4. Sanseviero O., Cuenca P., Passos A., Whitaker J. Hands-On Generative AI with Transformers and Diffusion Models. – O'Reilly Media, 2025. – 419 p. - C. 102-105.
5. Rothman D. Transformers for Natural Language Processing and Computer Vision. 3rd ed. – Packt Publishing, 2024. – 582 p. - C. 242.
6. Godoy D. V. Deep Learning with PyTorch Step-by-Step. – Daniel Voigt Godoy, 2024. – 1047 p. - C. 510-514.
7. Howse J., Joshi P., Beyeler M. OpenCV Computer Vision Projects with Python. – Packt Publishing, 2016. – 300 p. - C. 150-152.
8. Bourlai T. (Ed.). Face Recognition Across the Imaging Spectrum. – Springer, 2016. – 370 p. - C. 195.
9. Koenigstein N. Transformers in Action. – Manning Publications, 2026. – 300 p. - C. 45-47.
10. Alves M. M. Accelerate Model Training with PyTorch 2.X. – Packt Publishing, 2024. – 230 p. - C. 88-90.
11. Zhao X., Hu S., Yin X.-C. Visual Object Tracking. – Springer, 2025. – 210 p. - C. 112-115
12. Solomon J. Numerical Algorithms. – CRC Press, 2015. – 400 p. - C. 200-205.
13. Коул А., Ганджу С., Казам М. Искусственный интеллект и компьютерное зрение. – СПб.: Питер, 2023. – 624 с. - C. 310.
14. Джоши П. Искусственный интеллект с примерами на Python. – СПб.: Диалектика, 2019. – 448 с. - C. 120-124.
15. Timsina P. Building Transformer Models with PyTorch 2.0. – BPB Publications, 2024. – 320 p. - C. 190-193.

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

TJ	RU	EN
Муҳамедова Шоирахон Файзуллоевна	Муҳамедова Шоирахон Файзуллоевна	Mukhamedova Shoirakhon Fayzulloevna
Номзади илмҳои физика- математика, дотсент	Кандидат физико математических наук, доцент	Candidate in physical and mathematical sciences, associate professor
Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон	Таджикский государственный университет права, бизнеса и политики	Tajik State University of Law, Business and Politics
E-mail: shoira74@mail.ru		
TJ	RU	EN
Шарипов Хотам Бекназарович	Шарипов Хотам Бекназарович	Sharipov Hotam Beknazarovich
докторант PhD	докторант PhD	PhD student
Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон	Таджикский государственный университет права, бизнеса и политики	Tajik State University of Law, Business and Politics
E-mail: sharipovhotambek@gmail.com		

ДАР БОРАИ АЛГОРИТМИ ТАҲИЯИ МАЧМУИ ХУСУСИИ N-ГРАММАҶО АЗ УНСУРҶОИ МАТН

М.Ҳ. Гафуров, Иброҳими Ю.

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

Дар мақолаи мазкур раванди таҳлил ва коркарди иттилооти матнӣ тавассути таҳияи маҷмуи хусусии n-граммаҳо (униграммаҳо, биграммаҳо ва триграммаҳо) аз унсурҳои матн шарҳ дода шудааст. Усули мазкур дар соҳаҳои коркарди додаҳои забони табиӣ (NLP), моделсозии масъалаҳои соҳаи лингвистика ва дар самти криптография барои бадалсозии объекти матнӣ аҳамияти калидӣ дорад. Дар мақола алгоритмҳои ҷудокунии ин унсурҳо пешниҳод карда шудаанд, ки дар онҳо: униграммаҳо - ҳар як аломати матн ҳамчун воҳиди алоҳида, биграммаҳо ва триграммаҳо - мутаносибан ба гурӯҳҳои ду ё сеҳарфа тақсим кардани матн мебошад. Дар ҳолати норасоии аломатҳо дар охири объекти матнӣ симболи махсуси «ҷои ҳеч» - (ø) илова карда мешавад. Барои татбиқи амалии ин алгоритмҳо забони барномасозии C# истифода шуда, намунаҳои матни барномаи он оварда шудаанд. Қисмати муҳими кор ба таҳияи маҷмуи хусусии n-граммаҳои беназир баҳшида шудааст. Қайд карда мешавад, ки усули беҳтарин барои ин кор истифодаи «хеш-маҷмуъҳо» (HashSet) мебошад, зеро он аз лиҳози суръати иҷро ва соддагии татбиқ самараноктар аст.

Калидвожаҳо: матн, алгоритм, униграмма, биграмма, триграмма, алифбои беназири хусусӣ.

ОБ АЛГОРИТМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЧАСТНОГО МНОЖЕСТВА N-ГРАММ ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕКСТА

М.Х. Гафуров, Иброҳими Ю.

В данной статье рассматривается процесс анализа и обработки текстовой информации посредством формирования частного множества n-грамм (униграмм, биграмм и триграмм) из элементов текста. Данный метод имеет ключевое значение в таких областях, как обработка естественного языка (NLP), моделирование лингвистических задач и криптография для шифрования текстовых объектов. В статье представлены алгоритмы разделения этих элементов, в которых: униграммы - каждый символ текста как отдельная единица, биграммы и триграммы - делятся на группы по два или три символа соответственно. В случае нехватки символов для создания n-грамм в конце текстового объекта добавляется специальный символ «нулевого места» - (ø). Для практической реализации этих алгоритмов используется язык программирования C#, приводятся примеры его программного текста. Значительная часть работы посвящена созданию множества уникальных n-грамм. Отмечается, что наилучшим методом для этого является использование «хеш-множеств» (HashSet), поскольку он более эффективен с точки зрения скорости выполнения и простоты реализации.

Ключевые слова: текст, алгоритм, униграмма, биграмма, триграмма, частный уникальный алфавит.

ON THE ALGORITHM FOR DEVELOPING A PRIVATE SET OF N-GRAMS FROM TEXT ELEMENTS

M.H. Gafurov, Ibrohimi Yu.

This article describes the process of analyzing and processing textual information by developing a private set of n-grams (unigrams, bigrams, and trigrams) from text elements. This method is of key importance in fields such as Natural Language Processing (NLP), linguistic modeling, and cryptography for the transformation of text objects. The article presents algorithms for dividing these elements, in which unigrams - each text character as a separate unit - while bigrams and trigrams are divided into groups of two or three characters, respectively. If there are not enough characters to create n-grams, a special "zero place" character (ø) is added to the end of the text object. The C# programming language is used for the practical implementation of these algorithms, and examples of its program code are provided. A significant portion of the work is devoted to the creation of sets of unique n-grams. It is noted that the best method for this is the use of "hash sets" (HashSet), since it is more efficient in terms of execution speed and ease of implementation.

Keywords: text, algorithm, unigram, bigram, trigram, private unique alphabet.

Муқаддима

Таҳлили иттилооти матнӣ яке аз масъалаҳои муҳим дар соҳаи коркарди забони табиӣ (NLP- Natural Language Processing), моделсозии масъалаҳои забоншиносӣ, криптография ва криптотаҳлил мебошад. Дар қорҳои [1, 2] усулҳои таҳияи алифбои беназир дар самти бадалсозии иттилоот, дар [3] раванди бадалсозии объекти матнӣ бо истифодаи символҳои забон, дар [4] татбиқи биграммаҳо дар бадалсозии объекти матнӣ дар [5, 6] татбиқи триграммаҳо дар бадалсозии иттилоот, дар [7] масъалаи басомади ҳарфҳо ва дар [8] басомади биграммаҳо дар забони тоҷикӣ омӯхта шудаанд. Дар раванди тадқиқот дар самти муайянкунӣ ва ҷудокунии n-граммаҳо қорҳои дар боло овардашударо истифода мекунем. Барои ин ва дигар масъалаҳои соҳаи криптография тадқиқи усулҳои муайянкунӣ ва ҷудокунии n-граммаҳо муҳим аст.

Алгоритмҳои ҳалли масъала

Равиши заминавии тақсимкунии матнҳо ба n -граммаҳо аз пай дар пай ба n символ чудо кардани онҳо мебошад, ки ҷои ҳолӣ (пробел) ҳамчун симболи алоҳида ба қайд гирифта мешавад. Барои ҷудокунӣ ва коркарди иттилооти матнӣ асосан аз униграмм, биграмм ва триграмм ($n=1, 2, 3$) истифода мекунам. Униграммаҳо ($n=1$) дар шакли воҳиди хурдтарини матн тасвир мешавад ва замина барои сохтани моделҳои мураккаб, аз он ҷумла биграммаҳо ($n=2$), триграммаҳо ($n=3$) ва n -граммаҳо ба ҳисоб меравад.

Алгоритми ҷудокунии n -граммаҳо аз қисматҳои зерин иборат аст:

1. Объекти матнӣ дода, интиҳоб ё сохта мешавад;
2. Барои сохтани n -граммаҳо аз тарзҳои зерин истифода мекунам:

а) объекти додашударо аз аввал сар карда бо баиноват гирифтани ҳамаи нишонаҳои аломатҳои оддӣ, махсус ва рақамҳо ба унсурҳои аз n -символ иборатбуда (n -граммаҳои тарафи чап) тақсим мекунам. Агар дар охир барои ба n -грамма табдил додан символ кифоя набошад, ба он нишонаи мавқеи ҳеҷро ($\emptyset$) ҳамроҳ мекунам;

б) аз символҳои ҳарфӣ омода кардани n -граммаҳо кифоя аст, ки аломатҳои оддӣ, махсус ва рақамҳоро ба символҳои ҳарфӣ дар объект набуда иваз кунанд, яъне пешакӣ калид-ивазкунандаи аломатҳоро ба символҳо месозанд, ки он чунин намудро дорад:

$$K = \{a_i \rightarrow s_j ; i, j = 1, 2, 3, \dots, n \},$$

ки a_i – оддӣ, махсус ва ё рақамҳо, s_j – символҳои ҳарфӣ ихтиёрии дар объект набуда;

Дар ҳолати $n>1$ будан (биграммаҳо, триграммаҳо, ...) дарозии матни додашуда санҷида шуда, ҳангоми ба n -граммаи пурра дар охири матн норасоӣ пайдо гардидан дар охири матн миқдори зарурии симболи ҷои ҳеҷ ($\emptyset$) илова карда мешавад.

3. Бо мақсади дар оянда истифода кардани маҷмӯи ҳамаи n -граммаҳои дар объект буда, аз онҳо маҷмуи n -граммаҳои беназирро месозанд.

А. Униграмма

Бигзор матни T ки аз пайдарпайии аломатҳои оддӣ, махсус ва рақамҳо иборат аст, дода шудааст:

$$T = c_1 c_2 c_3 \dots c_m$$

дар инҷо c_i -символи i -ум, m -дарозии матн мебошад.

Маҷмуи хусусии униграммаҳои матни додашударо ба таври зерин ифода кардан мумкин аст:

$$U = \{u_i\}_{i=1}^m, u_i = c_i$$

Барои тақсими матни додашуда ба униграммаҳо амалҳои зерин иҷро карда мешаванд, ки барномаи он дар забони барномасозии C# таҳия карда шудааст ва қисматҳои асосии онро меорем:

1. Дохилкунии матни T

```
string text = richTextBox1.Text;
```

2. Аз хотираи фаврӣ чудо кардани блоки дохилкунии символҳо ва унсурҳо $U = []$

```
string[] unigrams = new string[text.Length];
```

3. Барои ҳар як символҳои матн, аломатҳои махсус ва рақамҳо, ки ҳамчун c_i ба қайд гирифта мешавад, аз матни T иловакунии c_i ба маҷмуи U - униграммаҳо

```
for(int i = 0; i < text.Length; i++)
```

```
{
    unigrams[i] = text[i].ToString();
}
```

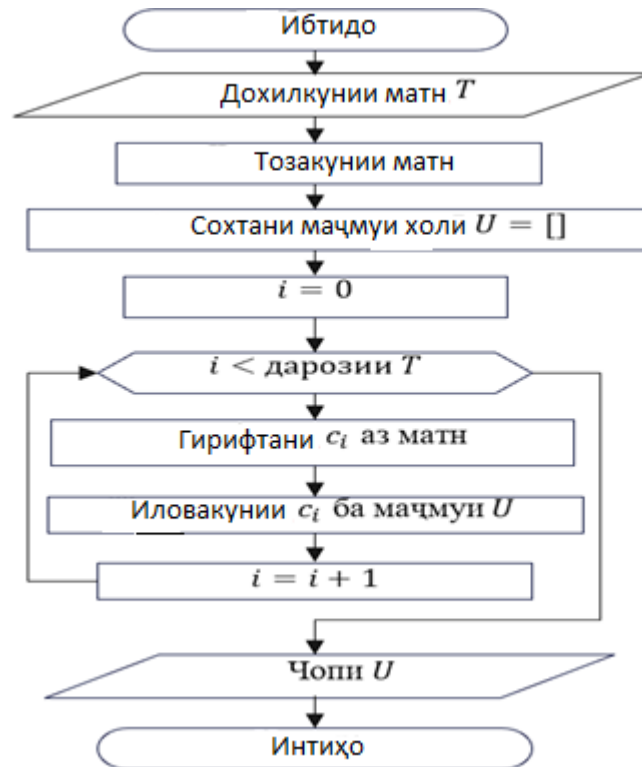
4. Сохтани маҷмуи символҳои беназир ва хориҷкунии банди 3

```
string[] uniqueUnigrams = unigrams.Distinct().ToArray();
```

```
for (int i = 0; i < uniqueUnigrams.Length; i++)
```

```
{
    listBox2.Items.Add(i + ". " + uniqueUnigrams[i]);
}
```

Блок-схемаи ҷудокунии униграммахоро аз матн додашуда дар шакли зерин тавсиф менамоям.



Расми 1 – Блок-схемаи ҷудокунии униграммахоро аз матн додашуда

В. Биграмма – пайдарпайии аз ду симболи дар матн бударо меноманд. Он яке аз ҳолати хусусии n -грамма ($n = 2$) мебошад. Дар раванди бадалсозии объекти матн биграммаҳои тарафи чапро истифода меkunанд, ки он дар ҷараёни бадалкуни ва аксбадалкуни мувофиқи мақсад аст.

Бигузор объекти матнии T ки аз n символҳо, аломатҳои имлой, фаннӣ, махсус ва рақамҳо иборат аст, дода шудааст:

$$T = b_1 b_2 b_3 \dots b_n$$

дар инҷо b_i -символи i -ум, n -дарозии матн мебошад.

Ҳангоми ҷудокунии матн ба биграммаҳо шарти асосии он ҷуфт будани миқдори символҳо дар объекти додашуда мебошад. Агар миқдори символҳо тоқ бошад, дар охири объект илова кардани символҳои ҷои ҳеҷ ($\emptyset$) ба мақсад мувофиқ аст.

Тақсим кардани объект ба биграммаҳо марҳилаҳои зеринро дарбар мегирад:

1. Доҳилкунии матн
`string text = richTextBox1.Text;`
2. Муайянкунии дарозии объекти матн $n = |T|$ ва дар ҳолати зарурат ба он илова кардани символҳои ҷои ҳеҷ ($\emptyset$)
`while (text.Length % 2 != 0)`
`{`
`text += "∅";`
`}`
3. Агар n тоқ бошад $T' = T\emptyset$ ва $n' = n + 1$, вагарна $T' = T$ ва $n' = n$, ки матн барнома дар банди 2 оварда шудааст.
4. Муайянкунии миқдори биграммаҳо $N = \frac{n'}{2}$
`string[] bigramms = new string[text.Length / 2];`
5. Сохтани маҷмуи биграммаҳои объекти додашуда $B_i = (T'_{2i-1}, T'_{2i})$, $i = 1, 2, \dots, N$
`for (int i = 0; i < text.Length; i += 2)`

```

{
string bigramm = text[i].ToString() + text[i + 1].ToString();
bigramms[i / 2] = bigramm;
}
    
```

6. Натиҷаи ниҳой дар намуди $Bigrams(T') = \{B_1 B_2, \dots, B_N\}$ ва дар асоси он сохтани биграммаҳои беназир

```

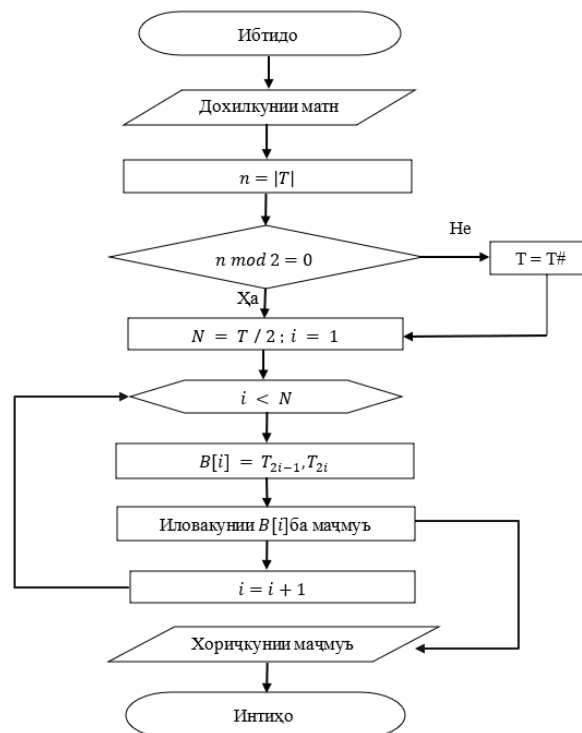
string[] uniqueBigrams = new HashSet<string>(bigramms).ToArray();
    
```

7. Хориҷкунии маҷмуи биграммаҳои беназир

```

for(int i = 0; i < uniqueBigrams.Length; i++)
{
listBox2.Items.Add(i+ ". "+uniqueBigrams[i]);
}
    
```

Блок-схемаи ҷудокунии объекти матнира бо истифодаи биграммаҳо дар шакли зерин тавсиф кардан мумкин аст.



Расми 2 - Блок-схемаи ҷудокунии объекти матнира бо истифодаи биграммаҳо

С. Триграмма – пайдарпайии аз се симболи дар матн буда мебошад. Он ҳолати хусусии n -грамма ҳангоми $n = 3$ будан аст.

Бигузор объекти матнӣ дар намуди зерин дода шудааст:

$$S = t_1 t_2 \dots t_n,$$

ки дар инҷо S – объекти матнӣ, t_i -симболи i -уми матн, $n = |S|$ -дарозии матн мебошад.

Тавре, ки маълум аст, ҳар як триграмма аз се символ, аломатҳои имлоӣ, фаннӣ, махсус ва рақамҳо иборат буда метавонад. Дар бадалсозии объект триграммаҳои тарафи чапро истифода меkunанд. Пас бо назардошти шарт $n \bmod 3 \neq 0$ триграммаи охирин метавонад пурра набошад. Барои бартараф кардани ҳолати мазкур амали пуркуниро истифода меkunанд. Дар чунин ҳолат ба матн илова кардани 1 ё 2 симболи ҷои ҳеҷ ($\emptyset$) барои пурра кардани триграммаи охирин зарур мебошад. Агар $n \bmod 3 = 2$ бошад, пас 1 симболи ҷои ҳеҷ ($\emptyset$) ва агар $n \bmod 3 = 1$ бошад, пас 2 симболи ҷои ҳеҷ ($\emptyset$) дар охири матн илова меkunанд. Дар натиҷа объекти матнии S намуди $S = S'$ -ро мегирад. Агар дар охири матн симболи ҷои ҳеҷ ($\emptyset$) илова карда нашавад, пас $S' = S$ ва $n' = n$ аст.

Барои сохтани маҷмуи хусусии триграммаҳои объекти матнии додашуда аввал миқдори триграммаҳое, ки аз ҳамин объект ҳосил кардан имконпазир аст, бо истифода аз формулаи $k = \frac{n'}{3}$ муайян мекунем. Дар инҷо n' -миқдори ҳамаи символҳо дар матнӣ васеъкардашудаи S' ва 3 дарозии ҳар як триграмма мебошад. Миқдори триграммаҳо ба k баробар аст. Барои объекти додашударо ба триграммаҳо тақсим кардан формулаи зеринро истифода мекунем:

$$T_j = s'_{3(j-1)+1}s'_{3(j-1)+2}s'_{3(j-1)+3}$$

дар инҷо $j = 1, 2, \dots, k$.

Дар натиҷа маҷмуи хусусии триграммаҳои ҳосилшуда чунин намудро мегирад: $Trigrams(S') = \{T_1, T_2, \dots, T_k\}$

Тақсим кардани объект ба триграммаҳо марҳилаҳои зеринро дарбар мегирад:

```

1. Дохилкунии матн
string text = richTextBox1.Text;
2. Дар ҳолати зарурат барои триграммаи охиринро сохтан ба матн илова кардани симболи ҷои ҳеҷ (∅)
while (text.Length % 3 != 0)
{
    text += "∅";
}
3. Муайянкунии миқдори триграммаҳо  $k = \frac{n'}{3}$ 
string[] trigrams = new string[text.Length / 3];
4. Сохтани маҷмуи триграммаҳои объекти додашуда  $T_j = s'_{3(j-1)+1}s'_{3(j-1)+2}s'_{3(j-1)+3}$ 
for (int i = 0; i < text.Length; i += 3)
{
    string trigram = text[i].ToString() + text[i + 1].ToString() + text[i + 2].ToString();
    trigrams[i / 3] = trigram;
}
5. Натиҷаи ниҳой дар намуди  $Trigrams(S') = \{T_1, T_2, \dots, T_k\}$  ва дар асоси он сохтани триграммаҳои беназир
string[] uniqueTrigrams = new HashSet<string>(trigrams).ToArray();
6. Хориҷкунии маҷмуи триграммаҳои беназир
for (int i = 0; i < uniqueTrigrams.Length; i++)
{
    listBox2.Items.Add(i + 1 + ". " + uniqueTrigrams[i]);
}

```

Таҳияи n-граммаҳои беназир

Барои истифода бурдани n-граммаҳо дар бадалсозии объекти додашуда аз сохтани маҷмуи хусусии n-граммаҳои беназири матнӣ истифода мекунам, ки дар он символҳо, аломатҳои имлоӣ, фаннӣ, махсус ва рақамҳо такрорнашаванда мебошанд. n-граммаҳои беназирро асосан бо яке аз 3 тарзи зерин ҳосил кардан имкон дорад:

1. Усули хеш-ҷадвалҳо ё хеш-маҷмӯъҳо (HashSet): Шакли махсуси маҷмӯъҳо, ки бо истифодаи имкониятҳои махсуси забонҳои барномасозӣ унсурҳоро ба маҷмӯъ дар ҳолате илова мекунад, агар он беназир бошад. Дар ин ҳолат унсур пеш аз ба маҷмӯъ илова шудан бо истифодаи усули хеширонӣ санҷида мешавад ва агар ин унсур дар маҷмӯъ ҷой надошта бошад, пас он ба маҷмӯъ илова мегардад.

2. Усули санҷиши пайдарпай: Ҳар як унсур бо унсурҳои дар маҷмӯъ буда муқоиса мешаванд ва агар унсури ҷорӣ дар маҷмӯъ набошад, пас он илова карда мешавад.

3. Усули ҳисобкунии басомади вохурӣ: Аввал миқдори такроршавии унсур дар маҷмӯъ санҷида мешавад. Пас барои ҷудокунии унсурҳои беназир ҳамон унсурҳое гирифта мешаванд, ки басомади такроршавии онҳо ба 1 баробар бошад.

Дар байни усулҳои номбаршуда аз лиҳози тадбиқкунӣ усули хеш-чадвалҳо ё хеш-маҷмуъҳо нисбатан содда, қулай ва суръати баланди иҷроиш дорад. Ҳамаи забонҳои барномасозии муосир воситаҳои махсуси барномавии кор бо хеш-маҷмуъҳоро доранд ва имконият медиҳанд, ки ба осонӣ маҷмуи унсурҳои беназир таҳия карда шаванд. Дар барномаи сохтшуда, ки қисмҳои он дар боло нишон дода шуд, барои сохтани n-граммаҳои беназир усули хеш-маҷмуъҳо истифода гардидааст.

Хулоса

Тибқи блок-схема ва алгоритмҳои овардашуда имконият фароҳам меояд, ки аз объекти матнӣ додашуда бо осонӣ маҷмуи хусусии n-грамма (униграмма, биграмма, триграмма)-ҳо муайян ва таҳия карда шаванд. Барои татбиқи n-граммаҳо дар самти бадалсозии иттилоот ҳамчунин ҷудокунии n-граммаҳои беназир зарур аст, ки барои ҳалли ин масъала истифода кардани усули хеш-чадвалҳо ё хеш-маҷмуъҳо ба мақсад мувофиқ мебошад.

Муқаррир: Ғуломсафдаров А.Ғ. – н.и.т., дотсенти кафедраи барномасозӣ ва зехни сунъии Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон.

Адабиёт

1. Гафуров, М. Х. Об одном способе разработки уникальных вариантов алфавита шифрования / М. Х. Гафуров, А. А. Косимов, А. Абдукарим // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 1(57). – С. 47-50. – EDN JUKVIS.
2. Гафуров М. Ҳ. Тарзи сохтани алифбои уникалии бадалсозӣ / М. Ҳ. Гафуров, А. А. Косимов // Вестник ПИТТУ имени академика М.С. Осими. 2022. №1 (22). С. 16-22.
3. Гафуров, М. Ҳ. Бадалсозии объекти матнӣ бо истифодаи символҳои забон / М. Ҳ. Гафуров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – №. 4(52). – Р. 31-35. – EDN SMXVKZ.
4. Гафуров М. Ҳ. Татбиқи биграммаҳо дар бадалсозии объект бо истифодаи калиди дукарата / М. Ҳ. Гафуров, А. А. Қосимов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. №3 (63). С. 43-46.
5. Гафуров М. Х. Шифрование объекта с использованием триграмм и двойного ключа / М.Х. Гафуров, А. А. Косимов, С. Исфандиёри // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. №4(64). С. 45-49.
6. Гафуров, М. Х. Применение биграмм и триграмм при шифровании объекта с использованием квадрата Полибея / М. Х. Гафуров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 1(65). – С. 72-75. – EDN LUNXVJ.
7. Усманов З. Д. Частотность букв таджикской литературы / З. Д. Усманов, А. А. Косимов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2015. – Т. 58, № 2. – С. 112-115.
8. Усманов З. Д. Частотность биграмм таджикской литературы / З. Д. Усманов, А. А. Косимов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2016. Т. 59. № 1-2. С. 28-32.
9. Гафуров, М. Ҳ. Дар бораи як тарзи бадалсозии объект бо истифодаи калиди дукарата / М. Ҳ. Гафуров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – №. 1(61). – Р. 38-41. – EDN BQCOID.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

TJ	RU	EN
Гафуров Миршафи Ҳамитович	Гафуров Миршафи Ҳамитович	Gafurov Mirshafi Khamitovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of technical sciences, associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: mirugaf56@gmail.com		
TJ	RU	EN
Иброҳими Юсуф	Иброҳими Юсуф	Ibrohimi Yusuf
Докторанти PhD кафедраи САИ	Докторант PhD кафедры АСУ	PhD student in ASM Department
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: ibrohimi-yusuf@mail.ru		

ИҚТИСОД ВА ИДОРАКУНИИ ҲОҶАГИИ ХАЛҚ - ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ - ECONOMICS AND MANAGEMENT OF THE NATIONAL ECONOMY

УДК: 330

DOI: 10.65599/III4378

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОИМОСТИ ПРОЕКТОВ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ТАДЖИКИСТАНЕ

А.Д. Ахророва, Н.М. Камилова

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими.

Изменение климата создает значительные риски для гидроэнергетики Таджикистана, снижая прогнозируемую выработку электроэнергии и, как следствие, рыночную стоимость существующих и перспективных гидроэнергетических проектов. Особую уязвимость демонстрируют отдаленные горные районы, не подключенные к централизованной сети, где доступ к энергии напрямую влияет на качество жизни. В статье обосновывается необходимость диверсификации источников энергии на основе развития малой гидроэнергетики. Систематизированы факторы, формирующие стоимость проектов малых гидроэлектростанций, включая климатические, экономические, информационные и технологические. Показано, что использование цифровых технологий управления (на примере плавучей комбинированной станции) позволяет снизить эксплуатационные риски и повысить инвестиционную привлекательность, оказывая положительное влияние на рыночную стоимость объектов.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, малая гидроэнергетика, изменение климата, факторы стоимости, рыночная стоимость, цифровизация, Таджикистан.

ТАЪСИРИ ТАҒЙИРЁБИИ ИҚЛИМ ВА РАҚАМӢКУНОӢ БА ОМИЛӢОИ ТАШАККУЛИ АРЗИШИ ЛОИӢАӢОИ НЕРӢОӢӢОИ БАРӢИ ОБИИ ХУРД ДАР ТОҶИКИСТОН

А.Д. Ахророва, Н.М. Камилова

Тағйирёбии иқлим барои соҳаи гидроэнергетикаи Тоҷикистон хатари ҷиддӣ ба вуҷуд меорад, зеро он метавонад ҳаҷми пешбинишавандаи истеҳсоли нерӯи барқро коҳиш диҳад ва дар натиҷа ба арзиши бозории лоиҳаҳои амалкунанда ва ояндадори гидроэнергетикӣ таъсири манфӣ расонад. Хусусан минтақаҳои дурдасти қӯҳистон, ки ба шабакаи мутамаркази барқ пайваст нестанд, осебпазирии бештар нишон медиҳанд, зеро дастрасӣ ба энергия дар чунин минтақаҳо бевосита ба сатҳи зиндагии аҳоли таъсир мерасонад. Дар мақола зарурати диверсификасияи манбаҳои энергия тавассути рушди гидроэнергетикаи хурд асоснок карда шудааст. Омилҳое, ки арзиши лоиҳаҳои нерӯгоҳҳои барқи обии хурдро ташаккул медиҳанд, аз ҷумла омилҳои иқлимӣ, иқтисодӣ, иттилоотӣ ва технологӣ, системабандӣ гардидаанд. Нишон дода шудааст, ки истифодаи технологияҳои рақамии идоракунӣ (дар мисоли истгоҳи шинокунандаи якҷояшуда) имкон медиҳад ҳавфҳои истифодабариро коҳиш дода, ҷолибияти сармоягузориҳои лоиҳаҳоро баланд бардорад ва ба арзиши бозории объектҳо таъсири мусбат расонад.

Калидвожаҳо: амнияти энергетикӣ, гидроэнергетикаи хурд, тағйирёбии иқлим, омилҳои арзиш, арзиши бозорӣ, рақамикунӣ, Тоҷикистон.

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE AND DIGITALIZATION ON THE FACTORS OF COST FORMATION OF SMALL HYDROPOWER PROJECTS IN TAJIKISTAN

A.D. Akhrorova, N.M. Kamilova

Climate change creates significant risks for the hydropower sector of Tajikistan, reducing the projected electricity generation and, consequently, the market value of existing and prospective hydropower projects. Remote mountainous areas that are not connected to the centralized power grid are particularly vulnerable, where access to energy directly affects the quality of life of the population. The article substantiates the need to diversify energy sources through the development of small hydropower. The factors that determine the cost of small hydropower projects, including climatic, economic, informational, and technological factors, are systematized. It is shown that the use of digital management technologies (using the example of a floating combined power station) can reduce operational risks and increase investment attractiveness, thereby having a positive impact on the market value of such facilities.

Keywords: energy security, small hydropower, climate change, cost factors, market value, digitalization, Tajikistan.

Введение

Обеспечение устойчивого энергоснабжения отдаленных горных районов Таджикистана остается одной из ключевых социально-экономических задач. Около 85% гидроэнергетических ресурсов страны сосредоточены в удаленных от центров нагрузок районах, а значительная часть населения до сих пор не имеет надежного доступа к централизованной электросети. Решением этой

проблемы является комплексное использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в первую очередь — строительство малых гидроэлектростанций (МГЭС).

Однако реализуемые в республике программы развития малой гидроэнергетики сталкиваются с серьезными трудностями. Анализ показывает, что установленная мощность значительной части введенных в эксплуатацию МГЭС используется лишь на 38,5% [1]. Низкая эффективность использования построенных МГЭС свидетельствует о наличии системных проблем, которые напрямую связаны с экономическими аспектами реализации проектов.

Одним из ключевых барьеров является высокая неопределенность в отношении будущей выработки электроэнергии, вызванная изменением климата (таяние ледников, изменение стока рек). Это напрямую влияет на рыночную стоимость энергетических объектов, делая их менее привлекательными для инвесторов. Кроме того, на стоимость проекта влияет целый комплекс факторов: от отсутствия достоверных данных по водотокам до низкой квалификации эксплуатационного персонала.

Целью данной статьи является выявление и систематизация факторов, влияющих на рыночную стоимость проектов малых гидроэлектростанций в Таджикистане, а также обоснование роли цифровых технологий в снижении стоимости и повышении инвестиционной привлекательности таких проектов.

Изменение климата как фактор неопределенности для гидроэнергетики Таджикистана

Таджикистан обладает значительным гидроэнергетическим потенциалом, что обусловлено его горным рельефом (93% территории) и густой речной сетью. Общий гидроэнергетический потенциал страны оценивается в 527 млрд кВт·ч в год, при этом потенциал малой гидроэнергетики (реки с возможностью строительства объектов до 10 МВт) составляет 184,46 млрд кВт·ч в год, или 35% от совокупного [2]. По удельным запасам на душу населения (57 тыс. кВт·ч на человека) и на единицу территории (3,7 млн кВт·ч на 1 км²) республика входит в число мировых лидеров. В настоящее время гидроэнергетика обеспечивает 95% вырабатываемой в стране электроэнергии. Однако сложившаяся модель энергоснабжения, основанная преимущественно на средних и крупных ГЭС, демонстрирует высокую уязвимость к климатическим изменениям. Результаты гидрометеорологических наблюдений фиксируют устойчивые негативные тенденции: ледники, дающие начало всем крупным рекам Центральной Азии, сокращаются со скоростью 0,2–1% в год; наблюдается снижение количества осадков в виде снега в горных бассейнах; изменяется режим стока: зимний сток увеличивается из-за более раннего таяния снегов, тогда как сток в весенне-летний период, критически важный для энергетики и ирригации, сокращается. Согласно прогнозам, к 2050 году сокращение водных ресурсов в бассейне реки Амударья может составить 10–15%, в бассейне реки Сырдарья — 2–5% [2]. Ситуация усугубляется ростом водопотребления в странах региона и появлением новых стратегических интересов к трансграничным водным ресурсам, со стороны Афганистана. Таким образом, изменение климата вносит фундаментальную неопределенность в долгосрочное планирование в энергетике. Для крупных ГЭС это означает риски снижения выработки и, как следствие, падения их рыночной стоимости. В этих условиях особую актуальность приобретает диверсификация источников генерации за счет развития малой гидроэнергетики и других ВИЭ, которые могут обеспечить более гибкое и надежное энергоснабжение, особенно в удаленных районах.

Малая гидроэнергетика: мировой опыт и роль в энергобезопасности Таджикистана

В мировой энергетической стратегии малая гидроэнергетика рассматривается как неотъемлемый элемент перехода к «зеленой» экономике и обеспечения энергетической безопасности. Согласно отчету ЮНИДО, общий известный потенциал малой гидроэнергетики (объекты до 10 МВт) в мире оценивается в 221,7 ГВт. При этом освоено лишь около 34% этого потенциала (79 ГВт на 2022 год), что свидетельствует о значительных перспективах роста. Объем мирового рынка малой гидроэнергетики в 2024 году оценивался в 2,5–2,54 млрд долларов США [3]. На этом фоне ситуация в Центральной Азии выглядит скромнее: освоенный потенциал составляет всего 0,1% (266 МВт). Таджикистан, обладая огромными ресурсами малой гидроэнергетики (184,46 млрд кВт·ч в год), использует их крайне недостаточно. Малые ГЭС (МГЭС) в условиях Таджикистана классифицируются по мощности и имеют ряд специфических особенностей:

– микро-ГЭС: до 100 кВт (используются для отдельных домохозяйств или небольших сел).
 – мини-ГЭС: от 100 кВт до 1 000 кВт. малые ГЭС: от 1 000 кВт до 30 000 кВт (согласно международным стандартам, принятым в Таджикистане).

В республике реализуется программа строительства МГЭС для обеспечения доступа к электроэнергии в труднодоступных горных населенных пунктах [4]. На сегодняшний день введено в эксплуатацию более 265 малых ГЭС мощностью от 5 до 2500 кВт. Однако доля малой гидроэнергетики на внутреннем рынке составляет лишь 0,2% (34 млн кВт·ч). Более тревожным сигналом является низкая эффективность уже построенных станций: исследование показало, что установленная мощность 155 обследованных МГЭС используется только на 38,5% [5].

Выявленное противоречие — между наличием государственной программы, значительным потенциалом и реально достигнутыми результатами — указывает на наличие системных барьеров. Ключевым препятствием представляется экономическая неэффективность проектов, которая напрямую связана с факторами, формирующими стоимость МГЭС на всех этапах жизненного цикла: от проектирования до эксплуатации.

Факторы, формирующие стоимость проектов малых гидроэлектростанций

Рыночная стоимость МГЭС, как и любого инвестиционного актива, формируется под влиянием комплекса взаимосвязанных факторов. Понимание этой системы необходимо как для разработчиков проектов, стремящихся снизить затраты, так и для инвесторов и оценщиков, определяющих справедливую цену объекта. Классификация факторов, влияющих на рыночную стоимость энергетических объектов, представлена на рисунке 1. Анализ позволяет разделить их на две укрупненные группы: внешние (макроэкономические и природные) и внутренние (проектные и эксплуатационные).



Рисунок 1– Классификация факторов и условий, влияющих на рыночную стоимость малых гидроэлектростанций
 Источник: Составлено авторами

1. Внешние факторы. К внешним относятся факторы, которые формируют среду реализации проекта и не поддаются прямому контролю со стороны проектировщиков и собственников МГЭС. Они включают:

- *природно-климатические факторы.* Как было показано в разделе 1, изменение климата приводит к нестабильности стока малых рек. Для потенциального инвестора это означает риск недостижения проектной выработки электроэнергии. Если крупная ГЭС может частично компенсировать маловодье за счет водохранилища, то МГЭС, работающая в русле реки, гораздо более уязвима. Этот риск напрямую снижает прогнозируемый денежный поток и, следовательно, рыночную стоимость объекта. Таким образом, изменение климата становится не только экологической, но и фундаментальной экономической проблемой для оценки гидроэнергетических активов.

- *экономические и регуляторные факторы*. С 1 февраля 2026 года введены новые ставки, которые иллюстрируются данными таблицы 1:

Таблица 1 – Тарифы на электрическую энергию в Республике Таджикистан

Категория потребителей	Тариф (дирам за 1 кВт·ч)	Примечание
Население	~35–40	Точная цифра зависит от региональных субсидий* (ранее в 2025 г. был 35,36)
Промышленные предприятия	94,65	Без учета НДС
Бюджетные организации	~41–45	
Насосные станции (ирригация)	~10–12	Льготный тариф в период вегетации

Источник: Составлено авторами.

*Особенности регионов: в Горно-Бадахшанской автономной области энергетикой управляет частная компания «Памир Энерджи». Тарифы в этом регионе могут незначительно отличаться от тарифов государственного холдинга «Барки Точик» из-за специфики самокупаемости малых ГЭС региона.

Остальные регионы: обслуживаются государственным холдингом «Барки Точик», тарифы едины для городских и сельских жителей.

Несмотря на то, что в Таджикистане действует поэтапный план повышения тарифов для обеспечения окупаемости энергетического сектора, низкие тарифы на электроэнергию остаются ключевым барьером повышения их эффективности. При текущих тарифах срок окупаемости проектов МГЭС может достигать 15–20 лет и более, что делает их непривлекательными для частных инвестиций. Ситуация усугубляется отсутствием эффективных мер государственной поддержки: налоговых льгот на импорт оборудования, субсидирования ставок по кредитам, гарантированных «зеленых» тарифов. Отсутствие доступа к «длинным» и дешевым финансовым ресурсам вынуждает разработчиков использовать дорогие кредиты, что закладывается в стоимость проекта и делает конечный продукт (электроэнергию) неконкурентоспособным.

2. Внутренние факторы. Эта группа факторов связана с качеством проработки проекта и эффективностью управления объектом. Они включают:

- *информационные факторы и качество проектирования*. Один из главных барьеров является отсутствие надежной информационной базы о потенциале малых рек. Используемые при проектировании показатели валового и технического потенциала зачастую не учитывают современные климатические реалии и технологические возможности. Проектирование на основе устаревших или неточных данных ведет к ошибкам в выборе оборудования, завышению сметной стоимости или, напротив, к недоиспользованию мощности построенной станции. Именно это является одной из причин низкой (38,5%) загрузки существующих МГЭС.

- *технологические факторы*. Выбор оборудования определяет не только первоначальные капитальные затраты, но и будущие эксплуатационные расходы. Устаревшее, хотя и более дешевое на этапе закупки, оборудование требует частых ремонтов, имеет более низкий КПД и нуждается в постоянном присутствии персонала. В условиях отсутствия развитой инфраструктуры технического обслуживания в горных районах это ведет к длительным простоям и дополнительным издержкам, снижая итоговую стоимость объекта.

- *кадровые и эксплуатационные факторы*. Недостаточный уровень компетенции как проектировщиков, так и эксплуатационного персонала приводит к ошибкам на всех этапах. Неправильный монтаж, неграмотное обслуживание, отсутствие своевременной диагностики — все это сокращает срок службы оборудования и увеличивает аварийность. В результате МГЭС работает неэффективно, ее доходность падает, а рыночная стоимость снижается.

Таким образом, рыночная стоимость МГЭС представляет собой интегральный показатель, на который влияет вся совокупность перечисленных выше факторов. Снижение стоимости и повышение инвестиционной привлекательности возможно только при системной работе, направленной на минимизацию рисков в каждой из указанных выше групп. Особый интерес в этом

контексте представляют современные цифровые технологии, способные одновременно воздействовать на информационные, технологические и эксплуатационные факторы.

Цифровые технологии как инструмент снижения стоимости и повышения надежности (на примере плавучей комбинированной станции)

Одним из перспективных направлений смягчения выявленных выше барьеров является цифровизация процессов управления малыми электростанциями. Использование цифровых технологий позволяет воздействовать на ключевые внутренние факторы формирования стоимости: повышать точность исходных данных (информационный фактор), оптимизировать режимы работы (технологический фактор) и снижать затраты на эксплуатацию и обслуживание (кадровый и эксплуатационный факторы). В качестве примера рассмотрим предложенное в [6] конструктивно-компоновочное решение плавучей комбинированной электростанции, интегрирующей генерацию на основе энергии воды, солнца и ветра. Цифровизация узлов и механизмов такой установки позволяет создать единое информационно-управляющее пространство, включающее следующие компоненты:

- спутниковая система навигации (GPS/ГЛОНАСС) обеспечивает точную привязку объекта к местности и передачу данных о его местоположении. Это критически важно для удаленного мониторинга и координации действий аварийных служб в труднодоступных горных районах;

- система сенсоров (термодатчики, расходомеры, тахометры, пиранометры и др.) в режиме реального времени собирает информацию о ключевых параметрах работы станции: объем выработки электроэнергии; скорость потока, напор и расход воды; число оборотов гидротурбины и ветрогенератора; температура нагрева привода и генератора (диагностика перегрузок); уровень солнечной инсоляции и скорость ветра (для комбинированных модулей);

- бортовой компьютер (многофункциональная информационно-управляющая система) выполняет функции сбора, первичной обработки и хранения данных с сенсоров. Он интегрирован с электронными процессорами узлов и механизмов, что позволяет не только фиксировать параметры, но и автоматически корректировать режимы работы установки для достижения максимальной эффективности;

- географическая информационная система (ГИС) служит для визуализации собранных данных в удобной для анализа форме. ГИС позволяет накладывать информацию о работе станции на карты местности, гидрологические и метеорологические данные, создавая основу для принятия управленческих решений.

Экономический эффект от внедрения цифровых технологий проявляется за счет:

- снижения эксплуатационных расходов. Удаленный мониторинг позволяет отказаться от постоянного присутствия персонала на удаленных объектах. Диагностика оборудования в реальном времени позволяет перейти от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам «по состоянию», что сокращает затраты и предотвращает аварийные простои.

- увеличения выработки электроэнергии. Автоматическая оптимизация режимов работы (например, выбор оптимального сочетания работы гидро- и солнечных модулей) позволяет максимально эффективно использовать доступные ресурсы, повышая коэффициент полезного действия установки.

Повышение инвестиционной привлекательности. Прозрачность работы объекта, наличие достоверных данных о фактической выработке и техническом состоянии позволяют потенциальному инвестору или покупателю более точно оценить будущие денежные потоки и риски. Это напрямую влияет на рост рыночной стоимости актива.

Формирование достоверной базы данных. Накопление информации о работе станций на малых водотоках с различными гидрологическими характеристиками позволит в будущем повысить качество проектирования новых объектов, устраняя информационный барьер, отмеченный в разделе 3.

Таким образом, цифровизация, реализованная на базе предложенной плавучей станции, выступает не просто техническим усовершенствованием, а инструментом управления стоимостью проекта на всех этапах его жизненного цикла.

Барьеры и рекомендации по снижению стоимости и развитию сектора малой гидроэнергетики

Проведенный анализ позволяет систематизировать основные барьеры, сдерживающие развитие малой гидроэнергетики в Таджикистане, и предложить комплекс мер, направленных на снижение стоимости проектов и повышение их эффективности. Рекомендации сгруппированы в соответствии с классификацией факторов, влияющих на рыночную стоимость МГЭС (таблица 1).

Таблица 1 – Барьеры и рекомендации по снижению стоимости проектов МГЭС

Группа факторов	Выявленные барьеры	Рекомендации
Экономические и регуляторные	Низкие тарифы на электроэнергию	Разработать механизм стимулирующих тарифов для энергии, производимой МГЭС («зеленый тариф»)
	Отсутствие налоговых и кредитных льгот	Ввести налоговые льготы на импорт оборудования для МГЭС, не производимого в республике
	Высокие финансовые риски для инвесторов	Обеспечить доступ к стабильным источникам финансирования через механизмы государственно-частного партнерства и микрофинансирования
Информационные	Отсутствие современной базы данных по потенциалу малых рек	Провести переоценку гидроэнергетического потенциала малых рек с учетом современных климатических изменений и технологических возможностей
	Использование устаревших данных при проектировании	Создать открытую геоинформационную систему (ГИС) с данными по водотокам и перспективным площадкам для размещения МГЭС
Технологические	Отсутствие развитой инфраструктуры технического обслуживания	Создать условия для организации производства элементов плавучих станций и другого оборудования для МГЭС на отечественных промышленных предприятиях
	Зависимость от импорта оборудования	Развивать инфраструктуру микросетей и сервисных центров в регионах страны
Кадровые и эксплуатационные	Недостаточный уровень компетенции проектировщиков	Разработать и внедрить обучающие программы для местного населения по строительству, эксплуатации и техническому обслуживанию МГЭС с использованием цифровых технологий
	Низкая квалификация эксплуатационного персонала	
	Отсутствие у населения понимания значимости МГЭС	Повышать осведомленность местных сообществ и частных инвесторов о преимуществах и потенциале малой гидроэнергетики

Источник: Составлено авторами

Реализация предложенных рекомендаций, и особенно внедрение цифровых технологий управления, аналогичных описанным в разделе 4, позволит не только повысить эффективность уже существующих МГЭС, но и создаст условия для притока инвестиций в новые проекты. Достоверная оценка рыночной стоимости, учитывающая снижение рисков благодаря цифровизации, станет основой для формирования полноценного рынка «зеленой» энергии в Таджикистане.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

Изменение климата создает значительные риски для гидроэнергетики Таджикистана, снижая предсказуемость выработки электроэнергии и, как следствие, рыночную стоимость гидроэнергетических активов. В этих условиях диверсификация источников генерации за счет развития малой гидроэнергетики становится не только социально значимой, но и экономически оправданной стратегией.

Низкая эффективность существующих МГЭС (загрузка мощностей на 38,5%) обусловлена комплексом факторов, влияющих на их рыночную стоимость. В статье предложена классификация этих факторов на внешние (природно-климатические, экономические, регуляторные) и внутренние (информационные, технологические, кадровые и эксплуатационные).

Цифровизация процессов управления малыми электростанциями, рассмотренная на примере плавучей комбинированной установки, позволяет целенаправленно воздействовать на внутренние факторы стоимости. Снижение эксплуатационных расходов, оптимизация режимов работы и повышение прозрачности объекта для инвестора способствуют росту его рыночной стоимости и инвестиционной привлекательности.

Преодоление существующих барьеров требует комплексного подхода, включающего меры экономического стимулирования, создание современной информационной базы, развитие кадрового потенциала и внедрение цифровых технологий. Реализация предложенных рекомендаций будет способствовать устойчивому энергоснабжению отдаленных горных районов и повышению энергетической безопасности Республики Таджикистан.

Рецензент: Муқимова Н.Р. – д.э.н., доцент кафедры экономики и управления на производстве ТПУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Малые ГЭС Таджикистана: проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] // Energy Central. – 2024. – URL: <https://energycentral.com/tajikistan/small-hydro> (дата обращения: 20.02.2025).
2. Ахророва А.Д., Конструктивно-компоновочные решения в освоении возобновляемых источников энергии, как инструмент управления рыночной стоимостью гибридных электростанций / А.Д. Ахророва А.Д., Н.М. Камилова // Политехнический вестник ТГУ имени акад. М.С.Осими. Серия: Инженерные исследования» 2022 г. – №1. С. 40-46, ISSN 2520-2227.
3. World Small Hydropower Development Report 2022 / United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). – Vienna : UNIDO, 2022. – 245 p. – URL: <https://www.unido.org/WSHPDR2022>.
4. Программа развития малой гидроэнергетики Республики Таджикистан на период до 2030 года : утв. Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 2 февраля 2015 года № 34. – Душанбе, 2015. – 45 с.
5. Хакимов, Р. Т. Экономическая эффективность малых ГЭС в условиях Таджикистана / Р. Т. Хакимов // Экономика Таджикистана: стратегия развития. – 2023. – № 2. – С. 67–74.
6. Камилова Н.М. Цифровое управление гибридной электростанцией в локальной системе электроснабжения / А.Д. Ахророва, Н.М. Камилова // Устойчивое развитие энергетики Республики Беларусь: состояние и перспективы: III Междунар. науч. конф. (Минск, 1-4 окт. 2024 г.) / под ред. Т.Г.Зориной. – Минск: Беларус.навука, 2025. – 685 с. С. 512-522. ISBN 978-985-08-3252-8.
7. Бердиева, Н. Х. Роль цифровых технологий в повышении конкурентоспособности промышленности Таджикистана / Н. Х. Бердиева // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 2(70). – С. 82-88. – EDN ZUOYYN.

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

TJ	RU	EN
Ахророва Алфия Додохоновна	Ахророва Альфия Дадахановна	Akhrorova Alfiya Dadakhanovna
д.и.и., профессор	д.э.н., профессор	Doctor of Economical Sciences, Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: aalphia@mail.ru		
TJ	RU	EN
Камилова Нигина Мухамадавазовна	Камилова Нигина Мухамадавазовна	Kamilova Nigina Mukhamadavazovna
Доктори фалсафа, муаллими калон	Доктор философии, старший преподаватель	Senior Lecturer, PhD
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: nk_1777@bk.ru		

КОНСТРУКЦИЯ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ПЕЧИ В ХОЗЯЙСТВАХ ВАРЗОБСКОГО РАЙОНА

Б.Х. Разыков, М.А. Джуроев, Ф.С. Юсупов, С.А. Абдурахмонов

Душанбинский Филиал Национального исследовательского технологического университета
МИСИС

В горных районах Таджикистана доступ к централизованной энергетике ограничен, что приводит к массовому использованию традиционных печей — простых и дешёвых, но неэффективных и экологически вредных. Их эксплуатация вызывает чрезмерный расход топлива, деградацию лесных ресурсов, загрязнение воздуха внутри жилых помещений и отрицательно сказывается на здоровье сельского населения, особенно женщин и детей. Возникающие проблемы требуют поиска экологичных, энергоэффективных решений для повышения уровня жизни и защиты окружающей среды. Разработка и внедрение энергоэффективной металлической печи, основанной на новых конструктивных решениях, способна снизить расход топлива, уменьшить вредные выбросы, повысить уровень энергоэффективности и обеспечить комфортные условия для сельских домохозяйств. На заводе «Таджикгидроагрегат» были изготовлены модернизированные печи, а их практические испытания в условиях реальной эксплуатации прошли в школах и джамоатах Варзобского района. Разработанная модернизированная печь показала значительные преимущества по сравнению с традиционной в плане снижения расхода топлива. Использование энергоэффективной печи снижает расход топлива и вредных выбросов. Экспериментальные данные подтвердили эффективность проектных решений, что позволяет рекомендовать её применение в условиях села.

Ключевые слова: энергоэффективная печь, сельское домохозяйство, экологическая безопасность, сбережение топлива, модернизация печной технологии, устойчивое развитие, здоровье населения, уменьшение загрязнения воздуха, уязвимые группы.

ТАРРОҲӢ, САМАРАИ ИҚТИСОДӢ ВА ТАЪСИРИ ЭКОЛОҒӢ БА МУҲИТИ ЗИСТ АЗ ИСТИФОДАИ КӢРИ ЭНЕРГИЯИ САМАРАФЗОР ДАР ХОЧАГИҲОИ НОҲИЯИ ВАРЗОБ

Б.Х. Разыков, М.А. Джуроев, Ф.С. Юсупов, С.А. Абдурахмонов

Дар минтақаҳои қӯхистони Тоҷикистон дастрасӣ ба энергияи марказонидашуда маҳдуд аст, ки боиси истифодаи васеи оташдонҳои анъанавӣ мегардад - оддӣ ва арзон, вале камсамар ва барои муҳити зист зараровар. Истифодаи онҳо боиси истеъмоли аз ҳад зиёди сӯзишворӣ, вайроншавии ҷангалҳо, ифлосшавии ҳавои дохили бино ва таъсири манфӣ ба саломатии аҳолии деҳот, маҳсусан занон ва кӯдакон мегардад. Ин мушкилоти пайдошуда ҷустуҷӯи роҳҳои ҳалли аз ҷиҳати экологӣ тоза ва аз ҷиҳати энергия самаранокро барои беҳтар кардани сатҳи зиндагӣ ва ҳифзи муҳити зист тақозо мекунад. Таҳия ва татбиқи оташдони металии аз ҷиҳати энергия самаранок, ки бар асоси роҳҳои ҳалли нави тарроҳӣ асос ёфтааст, метавонад истеъмоли сӯзишвориро кам кунад, партовҳои зарароварро кам кунад, самаранокӣ энергияро беҳтар созад ва барои хонаводаҳои деҳот шароити бароҳат фароҳам оварад. Оташдонҳои муосир дар қорхонаи Тоҷикгидроагрегат истеҳсол карда шуданд ва озмоиши амалии онҳо дар шароити воқеӣ дар мактабҳо ва ҷамоатҳои ноҳияи Варзоб гузаронида шуд. Оташдони муосирӣ таҳияшуда нисбат ба оташдонҳои анъанавӣ аз ҷиҳати кам кардани истеъмоли сӯзишворӣ бартарихи назаррас нишон дод. Истифодаи оташдони аз ҷиҳати энергия самаранок истеъмоли сӯзишворӣ ва партовҳои зарароварро коҳиш медиҳад. Маълумоти таҷрибавӣ самаранокӣ роҳҳои ҳалли тарроҳиро тасдиқ карданд, ки ба мо имкон медиҳад, ки истифодаи онҳоро дар деҳот тавсия диҳем. Танӯри муосиршудаи таҳияшуда нисбат ба танӯри анъанавӣ бартарихи назаррасро аз ҷиҳати кам кардани истеъмоли сӯзишворӣ нишон дод. Истифодаи танӯри каммасрафи энергия истеъмоли сӯзишворӣ ва партовҳои зарароварро коҳиш медиҳад. Маълумоти таҷрибавӣ самаранокӣ роҳҳои ҳалли тарроҳиро тасдиқ карданд ва онро барои истифода дар деҳот мувофиқ гардонданд.

Калидвожаҳо: бухори каммасрафи энергия, хонаводаҳои деҳот, беҳтариҳои экологӣ, сарфаи сӯзишворӣ, наवсозиҳои технологияи бухориҳо, рушди устувор, тандурустии ҷамъиятӣ, коҳиш додани ифлосшавии ҳаво, гурӯҳҳои оғозпазир.

DESIGN, ECONOMIC EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF USING AN ENERGY- EFFICIENT FURNACE IN FARMS IN THE VARZOB DISTRICT

B.H. Rozikov, M.A. Juraev, F.S. Yusupov, S.A. Abdurahmonov

In Tajikistan's mountainous regions, access to centralized energy is limited, leading to the widespread use of traditional stoves—simple and inexpensive, but inefficient and environmentally harmful. Their use results in excessive fuel consumption, forest degradation, indoor air pollution, and negative impacts on the health of the rural population, especially women and children. These emerging problems require the search for environmentally friendly, energy-efficient solutions to improve living standards and protect the environment. The development and implementation of an energy-efficient metal stove based on new design solutions can reduce fuel consumption, reduce harmful emissions, improve energy efficiency, and provide comfortable conditions for rural households. Modernized stoves were manufactured at the Tajikhydroagregat plant, and practical testing of them under real-life conditions was conducted in schools and jamoats of the Varzob district. The developed modernized stove demonstrated significant advantages over a traditional stove in terms of reduced fuel consumption. Using an energy-efficient stove reduces fuel consumption and harmful emissions. Experimental data confirmed the effectiveness of the design solutions, making it suitable for use in rural areas.

Keywords: energy-efficient stove, rural household, environmental safety, fuel conservation, stove technology modernization, sustainable development, public health, air pollution reduction, vulnerable groups.

Введение

В условиях постоянного роста населения любой страны и недостаточности природных ресурсов вопрос энергоэффективности домохозяйств с каждым годом приобретают всё большую значимость [1]. В настоящее время повышение энергоэффективности сельских домохозяйств с ограниченным доступом к централизованным источникам энергии при снижении расхода используемого топлива является важной задачей для устойчивого развития горного Таджикистана, характеризующегося ограниченными энергетическими ресурсами. Большинство домохозяйств сельских районов используют для приготовления пищи и отопления традиционную печь, которая имеющую простую конструкцию и низкую стоимость, и одновременно являющуюся источником чрезмерного расхода топлива и сопровождающих этот процесс экологических проблем.

Возрастающее население Таджикистана увеличивает использование древесных ресурсов на постоянной основе, что приводит к деградации лесных массивов и сопутствующему экологическому дисбалансу в горных экосистемах. При сгорании топлива происходит выброс вредных веществ, являющихся одним из основных факторов ухудшения здоровья сельских жителей и экологии. В свете этих вызовов разработка конструктивно энергоэффективной печи, производство и применение новой металлоконструкции представляет собой важный шаг к обеспечению устойчивого развития, экономному использованию природных ресурсов и улучшению условий жизни сельских жителей горных регионов.

В качестве перспективного направления при решении данной проблемы авторами проведены полевые исследования в Варзобском районе, где были разработаны конструктивно и введены в эксплуатацию энергоэффективные печи в условиях социальных учреждений трёх джамоатов. Эксплуатация новой печи ожидаемо сократила неэффективные расходы трёх видов потребляемого топлива – дров, угля и таппака, причём уровень комфорта от новой системы энергопотребления не снижался.

Применение энергоэффективной печи показало более полное сгорание топлива, уменьшение выбросов вредных загрязняющих веществ и сокращение задымлённости местности, снизившее антропогенную нагрузку на окружающую среду и возникновение респираторных заболеваний сельских жителей.

Методика исследования

- В рамках проекта «Адаптация сельского населения к изменениям климата» на заводе «Таджикгидроагрегат» были изготовлены 12 модернизированных энергоэффективных печей по авторским чертежам.

- Испытания проводились в условиях реальной эксплуатации в течение 9 месяцев.
- Местом проведения испытаний стали три школы и три джамоата Варзобского района — Зидди, Дехмалик и Чорбог.

- Для конструкции каждой печи использовались металлические детали на сумму 3150 сомони, а также технологические компоненты: ступенчатая камера сгорания, топочные отверстия, Г-образная дымоходная труба, бак для разогрева воды.

- Регулятор воздуха, встроенный в конструкцию, обеспечивал оптимальный приток воздуха, поддержание эффективного горения и контроль расхода топлива.

- В качестве топлива использовались дрова, уголь и таппак, что позволяло проверить универсальность печи.

- Практическое испытание включало монтаж и эксплуатацию печей в реальных условиях сельской местности, оценку эффективности, безопасности и влияние на окружающую среду.

Результаты исследования

- Модернизированные энергосберегающие печи существенно снизили затраты времени и денежных средств на топливо, а также уменьшили риски для здоровья населения.

- Благодаря встроенному регулятору воздуха обеспечивается эффективное горение и сокращение расхода топлива, что снизило загрязнение воздуха внутри помещений.

- Экологические показатели улучшились благодаря уменьшению выбросов загрязняющих веществ.

- Испытания подтвердили возможность технологической адаптации печей к местным условиям, что позволяет широко внедрять их в сельских районах.
- Использование таких печей способствует улучшению экологического состояния, здоровья сельских жителей и повышению уровня их жизни, особенно для уязвимых групп — женщин и детей.

Обсуждения

Использование традиционной печи нередко становилось причиной возникновения пожаров, негативно влияющих на окружающую среду (экологию), состояние здоровье человека (ожоги, отравление угарным газом). Применение энергоэффективной печи снижает риск возникновения подобных инцидентов. Указанная проблема охватывает не только Таджикистан, но и весь мир. Глобальные сводные оценки 2021-24 годов показывают пострадавших и погибших из-за неэффективного и небезопасного использования твёрдого топлива. Международная статистика рассматривает 2 направления последствий, связанных с использованием топлива и печей:

- 1) бытовые травмы – ранения, ожоги, отравления (в т.ч. CO₂);
- 2) домашнее загрязнение воздуха – болезни и преждевременная смерть (табл. 1).

Таблица 1 – Глобальная смертность, связанная с использованием печей и твёрдого топлива [2]

Год	Погибшие от загрязнения воздуха (дыма от печей и топлива), в млн.	Погибшие от пожаров/ожогов в быту, в тыс.	Итого погибших (оценка)
2021	≈2,9	≈120	≈3,0 млн.
2022	≈2,8-2,9	≈115	≈2,9-3,0 млн.
2023	≈2,7-2,8	≈110	≈2,8-2,9 млн.
2024	≈2,7	≈90	≈2,7-2,8 млн.

Источник: World Health Organization (ВОЗ) — Household Air Pollution and Health (факты о глобальной смертности, связанной с использованием печей и твёрдых топлива). 2025. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>.

За рассматриваемый период около 3 миллионов человек во всём мире ежегодно погибают от использования твёрдого топлива и небезопасных, неэффективных печей. По показателю смертности «основной вклад» вносит домашнее загрязнение воздуха (Household Air Pollution). В Таджикистане официальная статистика таких показателей отсутствует, но по журналистским исследованиям отмечается 78 смертей на 100000 жителей [3].

Всемирная организация здравоохранения и Global Burden of Disease (Глобальная нагрузка от болезней) не занимаются ведением подсчёта «пострадавших» в мире [4]. По этой причине на практике применяется другой показатель DALYs (годы жизни, прожитые с инвалидностью) и оценки травматизма (табл. 2). В зарегистрированных случаях основными органами поражения людей стали лёгкие, сердце и головной мозг, которые привели к таким болезням как пневмония, хроническая обструктивная болезнь лёгких, инсульт и др.

Таблица 2 – Пострадавшие от дыма, пожаров и ожогов (оценка) [2]

Год	Люди с заболеваниями из-за дыма печей (млн.)	Травмированные при пожарах и ожогах (млн.)
2021	≈300-400	≈8-9
2022	≈300-390	≈8
2023	≈290-380	≈7-8
2024	≈260-350	≈5-6

Источник: World Health Organization (ВОЗ) — Household Air Pollution and Health (факты о глобальной смертности, связанной с использованием печей и твёрдых топлива). 2025. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>.

Большинство жителей сельских районов Таджикистана сталкиваются с растущей нехваткой топлива, что подтверждается внешним мониторингом. Женщины, ответственные за ведение домохозяйства, значительную энергию и время затрачивают на кипячение воды, приготовление

пищи и отопление домов дровами, углём или таппаком [5]. Кроме этого, женщины занимаются рубкой деревьев, сбором дров и их транспортировкой — порой на большие расстояния с помощью гужевого транспорта [6]. Это борьба за выживание, поскольку обеспечение семьи топливом становится утомительной ежедневной задачей.

По данным исследований условий жизни сельских домохозяйств, средняя семья Варзобского района тратит не менее 35% своего дохода на закупку дров или угля, при этом более половины энергии для приготовления пищи поступает именно за счёт сжигания топлива. Так, согласно опросу, в селе Пишамбе джамоата Дехмалик Варзобского района жители проводят более 100 дней в году в горах при сборе дров, тратя время и физические силы.

Значимость разработки и внедрения энергоэффективной печи в жизнь сельского домохозяйства обусловлена рядом факторов. Во-первых, растущая нехватка топлива ведёт к увеличению экономических затрат домохозяйств и сокращению доступных ресурсов, особенно в отдалённых и труднодоступных местностях. Во-вторых, значительное количество времени, энергии и труда, затрачиваемого женщинами и детьми на сбор дров и их транспортировку, негативно сказывается на их здоровье и общем уровне жизни. В-третьих, использование традиционных печей способствует загрязнению воздуха жилых комнат, вызывающее острые и хронические заболевания дыхательных путей, а также негативно влияющее на здоровье уязвимых групп населения — женщин и детей (рис. 1).

В условиях климатических изменений и деградации земель решение этих проблем становится жизненно необходимым для сельских домохозяйств горных регионов.

Разработка энергоэффективной и более экологичной печи способствует сокращению расхода топлива, снижению экономических затрат, улучшению здоровья населения и сохранению окружающей среды [7]. В связи с этим, создание и популяризация новой технологии становится приоритетной задачей для улучшения социально-экономического развития сельских районов Таджикистана.



Рисунок 1 – Ведение домохозяйства в горном селе (использование таппака [8] и традиционная печь [9])

1. Конструкция энергоэффективной печи

На основании вышеприведённых соображений авторы разработали конструкцию энергоэффективной печи, предназначенной для экономии ежегодной потребности в топливе при обогреве жилья и приготовлении пищи. В рамках проекта “Adaptation of rural population to climate change”, финансируемого организацией CARE в Таджикистане, на заводе «Таджикгидроагрегат» были

изготовлены 12 печей новой модификации, работа которых была опробована в условиях местных общин Варзобского района.

Базой для разработки новой конструкции послужила традиционная печь, модифицированная с целью повышения её энергоэффективности. Основные изменения включали замену одноконфорочной печи на двухконфорочную, что позволило увеличить производительность и снизить расход топлива.

Конструкция печи (рис. 2) включает следующие элементы (снизу-вверх):

1. Поддувало — регулирует поток воздуха для горения.
2. Колосниковая решётка — обеспечивает поступление воздуха и поддержку горения.
3. Дверца — для доступа к топке и контроля процесса горения.
4. Топочное отверстие — для закладки топлива и наблюдения за горением.
5. Топливник (камера сгорания) — зона для закладки и сгорания топлива.
6. Нижняя плоскость топливника — для укладки топлива.
7. Два комплекта чугунных колец — для приготовления пищи.
8. Дымовая труба — для отвода дымовых газов.
9. Ёмкость, со сквозным выпуском дымовой трубы и опорой на трёхногую стойку.

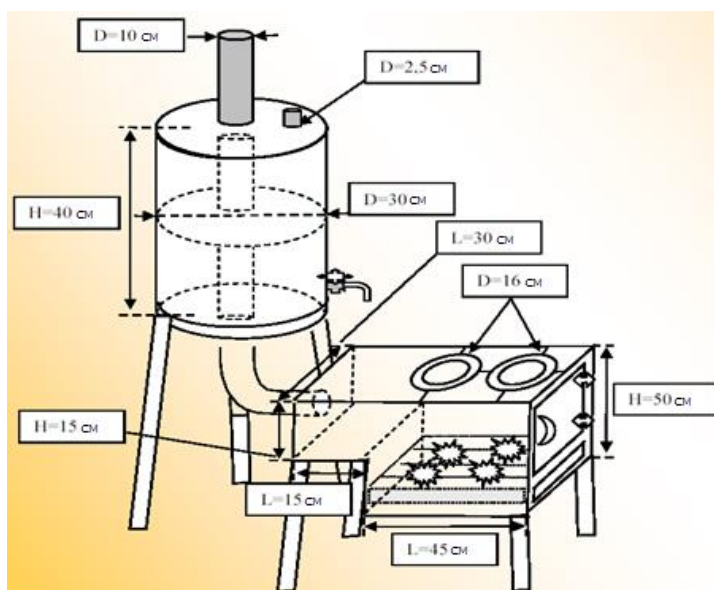


Рисунок 2 – Конструкция модернизированной печи (составлено автором Разыковым Б.Х.)

Инновационные конструкционные решения

Ключевыми новинками являются:

1) Ступенчатая камера сгорания с поддоном и топочными отверстиями, что обеспечивает более полное сгорание топлива и уменьшение выбросов-загрязнителей, таких как диоксид серы, оксиды азота и углекислый газ.

2) Фиксированная Г-образная дымоходная труба, на которой размещается бак для разогрева воды. Эта конструкция увеличивает эффективность использования топлива.

Конструкционные материалы и их стоимость

Элементы стенки печи изготовлены из стальных листов толщиной 5 мм и 40 мм уголков, что обеспечивает долговечность и надёжность конструкции (табл. 3).

В печи реализовано устройство терморегуляции и наличие дверцы, что позволяет управлять процессом горения и максимально эффективно использовать теплоэнергию.

В состав сметы включены следующие группы материалов:

- 1) Металлопрокат (стальной лист, уголок, трубы).
- 2) Сборочно-соединительные элементы (клапан с редуктором, винтовой выпуск).
- 3) Расходные сварочные материалы (электроды).

4) Газовый баллон, используемый как резервуар.

Таблица 3 – Конструкционные материалы и их стоимость

№	Наименование материалов	Ед. изм.	Кол-во	Цена (сом.)	Стоимость (сом.)
1	Стальной лист D = 5 мм	м ²	2	900	1800
3	Газовый баллон (резервуар для воды)	шт.	1	540	540
4	Уголок 40 мм	п.м.	2	11	22
5	Труба D = 100	м	1,5	236	354
6	Клапан с редуктором D = 15 мм	шт.	1	34	34
7	Выпуск с винтовой крышкой D = 25 мм	шт.	2	30	60
8	Электроды D = 4 мм	кг	4	85	340
ВСЕГО строительных материалов (сом.):					3150

Источник: составлено авторами

Итоговая сумма стоимости конструкционных материалов составляет 3150 сомони и сопоставима с затратами на покупку топлива: угля достигают 5292 сомони, дров – 6615 сомони, таппака – 3024 сомони (табл. 3).

2. Результаты работы энергоэффективной печи

Использование модифицированных печей принесло выгоду трём средним общеобразовательным школам джамоатов Зидди, Дехмалик и Чорбог Варзобского района с общим числом учащихся 209 человек и 46 работников местных джамоатов. Фактические замеры эксплуатации печей в школах и джамоатах, проведённые авторами в течение 1-й декады с последующими расчётами, показали следующее: эффективность их использования выразилась в снижении потребления топлива — каждая школа в течение 9 рабочих месяцев сэкономила порядка 1,89 тонны угля на сумму 2268 сомони при общей ежегодной норме потребления в 5,67 тонны угля Зиддинского месторождения (табл. 4).

Таблица 4 – Экономия угля общеобразовательной школой за время учебного периода

Вид топлива	Традиционная печька				Энергоэффективная печька			
	ед. изм.	цена, в сомони	на 1 день	на 1 сезон (9 месяцев)	на 1 день	на 1 сезон (9 месяцев)	экономия в ед. изм.	экономия, в %
Уголь	кг		21	5670	14	3780	1890	33,33%
	стоимость в сомони	1,2	25,2	6804	16,8	4536	2268	33,33%

Источник: составлено авторами

Касаемо домохозяйств, следует отметить, что в течение года экономия составила в зависимости от видов потребляемого топлива: 1) уголь – 2205 кг на сумму 2646 сомони; 2) дрова – 4,2 куб. м на сумму 1260 сомони; 3) таппак – 1512 кг на сумму 756 сомони (табл. 5).

Приведённые показатели подтверждают экономическую эффективность использования сельскими домохозяйствами модифицированной печи, существенно сокращающей время, затрачиваемое семьёй на сбор дров. Высвобожденное время можно направить на садоводство, рукоделие или дополнительное предпринимательство, способствующих повышению уровня благосостояния и качества жизни сельских семей.

Экономическая и экологическая эффективность

Конструкционно энергоэффективная печь предназначена для снижения объема потребляемого топлива:

- угля — на 33%;
- дров — на 16%;
- таппака — на 20%.

Таблица 5 – Экономия топлива домохозяйствами в течение года

Виды топлива	Традиционная печь				Энергоэффективная печь			
	ед. изм.	цена, в сомони	на 1 день	на 1 год (12 месяцев)	на 1 день	на 1 год (12 месяцев)	экономия в ед. изм.	экономия, в %
Уголь	кг		21	6615	14	4410	2205	33,33%
	стоимость в сомони	1,2	25,2	7938	16,8	5292	2646	33,33%
Дрова	м ³		0,09	26,25	0,07	22,05	4,2	16,00%
	стоимость в сомони	300	27	7875	21	6615	1260	16,00%
Таппак	кг		24	7560	19,2	6048	1512	20,00%
	стоимость в сомони	0,5	12	3780	9,6	3024	756	20,00%

Источник: составлено авторами

Показатели экономии топлива в процентах и натуральных единицах дублируются в таблицах 4 и 5, поскольку расчёты для школ и домохозяйств выполнены на основе одинаковых исходных данных и условий эксплуатации. Это объясняет совпадение значений и обусловлено использованием одинаковых расчётных предположений.

Это способствует как экономии ресурсов, так и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Применение угля, дров и таппака в помещениях с плохой вентиляцией может привести к возникновению высокой концентрации вредных газов и дыма, что негативно сказывается на здоровье. Основными объектами поражения становятся женщины и дети, которые большую часть времени проводят дома. Загрязнение воздуха внутри дома вызывает хронические респираторные заболевания, ухудшает состояние беременных женщин, снижает иммунитет новорожденных и ухудшает зрение [10]. Связь между ростом заболеваемости сельского населения, и использования традиционного печного отопления подтверждается экспертами системы здравоохранения.

В таблице 6 приведено сравнение удельных выбросов углекислого газа (CO₂) в атмосферу при использовании различных видов бытового топлива: угля, древесины и таппака. Расчёты выполнены на основе энергетических характеристик топлива и общепринятых коэффициентов выбросов.

Таблица 6 – Расчёты выброса CO₂ в атмосферу от разных источников топлива

Показатель	Уголь	Дерево	Таппак
Средние калорийные (топливные) эквиваленты для перевода натурального топлива в условное [11]	0,552	0,266	0,45
Топливный тонно-эквивалент в ГДж (т.т.э. по углю=29,3 ГДж) [12]	0,552×29,3=16,1736	0,266×29,3=7,7938	0,34×29,3=9,962

Показатель	Уголь	Дерево	Таппак
Перевод ГДж в кВт-ч	16,1736×277, 7(7)=4492,67	7,7938 ×277, 7(7)=2164,94	9,962×277, 7(7)=2767,222
Выбросы CO ₂ в г (955 г/кВт-ч для угля) [13]	4492,67×955=4290,5	2164,94×955=2067,518	2767,222 ×955=2642,697
Перевод г в л (1,98 г CO ₂ =1 л при н.у.) [14, с.424]	4290,5:1,98=2166,91 9 или 2,167 м ³	2067,518:1,98=1044,201 или 1,044 м ³	2642,697:1,98=1334,69 5 или 1,334 м ³
Экономия	1,89 т (школа)	4,2 м ³ (домохозяйство)	1,512 т (домохозяйство)
Выбросы CO ₂	1,89×2,167=4095,63 м ³	4,2×0,5×1,044=2192,4 м ³	1,512×1,334=2017,00 м ³
Экономия	2,205 т (домохозяйство)		
Выбросы CO ₂	2,205×2,167=4778,24 м ³		

Источник: (составлено на основе структурированных данных и расчётов) авторами

В заключительной части таблицы показан эффект экономии выбросов углекислого газа для различных объектов — школы и домохозяйств — при замене традиционной печи на энергоэффективную. Например, экономия 1,89 т угля в школе соответствует снижению выбросов углекислого газа на 4095,63 м³. Аналогичным образом рассчитаны показатели для домохозяйств при переходе на дерево или таппак. Суммарная экономия топлива в 2,205 т обеспечивает домохозяйству сокращение выбросов углекислого газа на 4778,24 м³.

Выводы

1) Разработанная модернизированная печь показала значительные преимущества по сравнению с традиционными моделями:

- Снижение расхода топлива — угля на 33%, дров — на 16%, таппака — на 20%;
- Экономия топлива в домохозяйствах достигает 2,205 тонн в год, что соответствует снижению выбросов углекислого газа примерно на 4778 м³;

2) В образовательных учреждениях и помещениях джамоатов зафиксировано снижение потребления угля и затрат на топливо, что подтверждает эффективность новых конструкций.

3) Подтверждена гипотеза о том, что использование энергоэффективных конструкций позволяет снизить расход топлива и вредные выбросы,— экспериментальные данные подтвердили эффективность модифицированной печи.

4) Полученные результаты демонстрируют, что модернизированные энергоэффективные печи помогают снизить расход топлива, уменьшают экологический ущерб и улучшают условия жизни населения. Их эксплуатация позволяет существенно экономить семейный бюджет домохозяйства и ресурсы общин, способствуя улучшению здоровья и снижению загрязнения воздуха внутри помещений.

5) Проект энергоэффективной печи вписывается в глобальную концепцию устойчивого развития и экологической безопасности.

Рецензент: *Нажмидинов Б.З. — к.э.н., доцент кафедры инвестиционного менеджмента и маркетинга Технологического университета Таджикистана.*

Литература

1. Батайкин П. А., Хасанова А. Ш., Шлычков В. В., Тумашев А. Р., Тумашева М. В. Экономический рост в условиях ресурсных ограничений: ординалистский подход к оптимизации макроэкономической структуры производства // ВЭПС. 2016. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskij-rost-v-usloviyah-resursnyh-ogranicheniy-ordinalistskiy-podhod-k-optimizatsii-makroekonomicheskoy-struktury> (дата обращения: 15.01.2026).

2. World Health Organization (ВОЗ) — Household Air Pollution and Health (факты о глобальной смертности, связанной с использованием печей и твёрдых топлива). 2025. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>.

3. От чего умирают люди в Таджикистане? <https://www.asiaplustj.info/ru/news/tajikistan/security/20241023/ot-chego-umirayut-lyudi-v-tadzhikistane?post>

4. Huang S., Lin H.-Z., Wei X. et al. (2025). Global, regional and national burden of injuries caused by fire, heat, and hot substances from 1990 to 2021. DOI: 10.1371/journal.pone.0324481.

5. Muradbek Laldjebaev. Energy poverty in rural areas of Tajikistan (исследование использования энергии в сельских районах Таджикистана). – Research Gate, 2018.

6. Леса. С. 180. https://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/ru_EHB_2010/ru_EHB_2010_10.pdf

7. Household Cookstoves, Environment, Health, and Climate Change: A New Look at an Old Problem Clean Cooking Alliance / UN Foundation Report, 2009.

8. Готовь кизяки летом. Как не замерзнуть зимой в Таджикистане. <https://asiaplustj.info/ru/news/tajikistan/society/20180104/gotov-kizyaki-letom-kak-ne-zamerznut-zimoi-v-tadzhikistane>

9. Раджабов, Р. К. Оценка предпринимательского климата в сфере услуг на современном этапе / Р. К. Раджабов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2016. – Т. 2, № 2(34). – С. 43-47. – EDN YPSUTN.

10. Загрязнение воздуха: как его измеряют и к каким заболеваниям оно приводит. <https://www.bbc.com/russian/articles/cpdvypq86pno>

11. Калькулятор перевода натурального топлива в условное. kotel-modul.ru/useful/table

12. Разыков Б.Х., Салихов Ф.С. Формирование системы дифференциации налогов в угольной отрасли Республики Таджикистан // Вестник филиала МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе. Серия: Гуманитарных и экономических наук. Том 2, № 3(26) 2023. С.12-17.

13. ETSU (1995), IEA (1998) Benign Energy? The Environmental Implications of Renewable, IEA/OECD, Paris.

14. Глинка Н.Л. Общая химия: учебное пособие для вузов. -23-е изд., стереотипное / Под ред. В.А. Рабиновича. — Л.: Химия, 1983. 704 с.

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

TJ	RU	EN
Розиқов Бахтиёр Ҳошимович н.и.и., дотсент	Разыков Бахтиёр Хашимович к.э.н., доцент	Rozykov Bakhtiyor Hashimovich Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотии технологӣ МИСИС	Душанбинский Филиал Национального исследовательского технологического университета МИСИС	Dushanbe Branch of the National University of Science and Technology MISIS
E-mail: razykov@bk.ru		
TJ	RU	EN
Љўраев Муминҷон Анварович н.и.и., дотсент	Джураев Муминджон Анварович к.э.н., доцент	Juraev Muminjon Anvarovich Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотии технологӣ МИСИС	Душанбинский Филиал Национального исследовательского технологического университета МИСИС	Dushanbe Branch of the National University of Science and Technology MISIS
E-mail: dzhuraev@mail.ru		
TJ	RU	EN
Юсупов Фирдавс Сидикович ассистент	Юсупов Фирдавс Сидыкович ассистент	Yusupov Firdavs Sidykovich assistant
Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотии технологӣ МИСИС	Душанбинский Филиал Национального исследовательского технологического университета МИСИС	Dushanbe Branch of the National University of Science and Technology MISIS
E-mail: firdavs.yusupov.1995@mail.ru		
TJ	RU	EN
Абдурахмонов Сарафроз Аслонбекович ассистент	Абдурахмонов Сарафроз Аслонбекович ассистент	Abdurakhmonov Sarafroz Aslonbekovich assistant
Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотии технологӣ МИСИС	Душанбинский Филиал Национального исследовательского технологического университета МИСИС	Dushanbe Branch of the National University of Science and Technology MISIS
E-mail: sarafroz99@mail.ru		

РОЛЬ КЛЮЧЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНОВ РТ В РАЗВИТИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ГРУЗОПОТОКОВ

Ф.Н. Низомзода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассматривается роль ключевых отраслей экономики регионов Республики Таджикистан в формировании и развитии транспортно-логистических грузопотоков. Особое внимание уделено влиянию сельского хозяйства, промышленности, горнодобывающего сектора и сферы услуг на объемы, структуру и направление грузовых перевозок. Показано, что отраслевая специализация регионов оказывает прямое воздействие на пространственную организацию грузопотоков и эффективность функционирования транспортно-логистической системы. На основе анализа экономических показателей обоснована необходимость учета отраслевых факторов при планировании и развитии транспортно-логистической инфраструктуры регионов Республики Таджикистан.

Ключевые слова: региональная экономика, отрасли экономики, грузопотоки, транспортно-логистическая система, Республика Таджикистан.

НАҚШИ СОҶАҶОИ АСОСИИ ИҚТИСОДИИ МИНТАҚАҶОИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН ДАР РУШДИ ҶАРОЁНИ БОРҶОИ НАҚЛИЁТӢ ВА ЛОГИСТИКА

Ф.Н. Низомзода

Дар мақола нақши соҷаҷои асосии иқтисодиёти минтақаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон дар таҳаккул ва рушди ҷараёнҳои боркашию логистикӣ таҳлил карда мешавад. Таваҷҷуҳи асосӣ ба таъсири соҷаҷои кишоварзӣ, саноат, истихроҷи маъдан ва хизматрасонӣ ба ҳаҷм, соҳтор ва самтҳои интиқоли бор равона гардидааст. Натиҷаҳои таҳлил нишон медиҳанд, ки иқтисоси соҷаии минтақаҳо ба таҳаккули фазои ҷараёнҳои бор ва самаранокии низоми нақлиётӣ-логистикӣ таъсири мустақим мерасонад. Зарурати ба инобат гирифтани омилҳои соҳавӣ ҳангоми банақшагирӣ ва рушди инфрасохтори нақлиётӣ-логистикӣ минтақаҳо асоснок карда шудааст.

Калидвожаҳо: иқтисодиёти минтақавӣ, соҷаҷои иқтисод, ҷараёнҳои бор, низоми нақлиётӣ-логистикӣ, Ҷумҳурии Тоҷикистон.

THE ROLE OF KEY ECONOMIC SECTORS OF THE REGIONS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN IN THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT AND LOGISTICS CARGO FLOWS

F.N. Nizomzoda

The article examines the role of key economic sectors of the regions of the Republic of Tajikistan in the development of transport and logistics freight flows. Particular attention is paid to the impact of agriculture, industry, mining and the service sector on the volume, structure and direction of cargo transportation. It is shown that the sectoral specialization of regions has a direct influence on the spatial organization of freight flows and the efficiency of the transport and logistics system. Based on the analysis of economic indicators, the necessity of considering sectoral factors in planning and developing regional transport and logistics infrastructure is substantiated.

Keywords: regional economy, economic sectors, freight flows, transport and logistics system, Republic of Tajikistan.

Введение

Эффективное и системно-поступательное функционирование экономики страны во многом зависит от надёжности транспортно-логистической системы, обеспечивающей пространственное распределение ресурсов, движение товаропотоков и интеграцию региональных промышленных комплексов в экономическую структуру с едиными задачами и целями. При совершенствовании процессов глобализации, развитии внешнеэкономических связей и увеличении внутреннего спроса на товары различных отраслей очевиден тот факт, что стабильность и конкурентоспособность отраслей экономики определяется как объемами производства, так и возможностями регионов при обеспечении своевременной, ритмичной и экономически обоснованной доставки товаров на внутренний и внешний рынки [1].

Экономика регионов страны является системой, где отраслевые комплексы выступают ключевыми элементами формирования грузопотоков, определяя типы, интенсивность и параметры логистических процессов – начиная от потребностей в специализированном транспорте и складах, заканчивая выбором оптимальных маршрутов, технологий хранения, погрузки и распределения товаров. Анализ ключевых отраслей региональной экономики способствует выявлению природы формирования грузопотоков и видов логистических операций, являющихся приоритетными для конкретных регионов, а также определению пропускной способности имеющейся инфраструктуры и уровня её соответствия фактическим запросам производства.

Целью исследования является выявление и обоснование роли ключевых отраслей экономики регионов Республики Таджикистан в формировании и развитии транспортно-логистических грузопотоков, а также определение их влияния на пространственную организацию и эффективность функционирования региональной транспортно-логистической системы.

В соответствии с поставленной целью в работе предлагается решение следующих задач:

- 1) Проанализировать отраслевую структуру экономики регионов Республики Таджикистан и определить ключевые отрасли, формирующие грузопотоки;
- 2) Исследовать влияние основных отраслей экономики на объемы, структуру и направления транспортно-логистических грузопотоков;
- 3) Выявить особенности пространственного распределения грузопотоков в зависимости от экономической специализации регионов;
- 4) Оценить роль отраслевых факторов в развитии транспортно-логистической инфраструктуры регионов;
- 5) Обосновать необходимость учета отраслевой специфики регионов при планировании и совершенствовании транспортно-логистической системы Республики Таджикистан.

В связи с этим транспортно-логистическая система Республики Таджикистан является важнейшим фактором обеспечения стабильного и поступательного территориального развития, взаимодействия региональных рынков и роста конкурентоспособности отраслей, формирующих базу хозяйственных комплексов регионов. При анализе транспортно-логистических потоков грузов в стране требуется рассмотреть структуру экономики территорий и основные виды экономической деятельности, которая формируется совокупностью отраслей промышленности и сельского хозяйства, строительства и торговли, а также сферы транспортных услуг, когда каждая из отраслей создаёт определённые грузопотоки и предъявляет требования к качеству логистической инфраструктуры [2].

Анализ валового внутреннего продукта (ВВП) Таджикистана на основе структуры экономики регионов позволяет выявить основные отрасли формирования грузопотоков, оценить их влияние на транспортно-логистическую инфраструктуру и принять оптимальные решения по местам расположения складов, распределительных центров, оптимизации маршрутов перевозок грузов для роста эффективности логистики и стабильного развития экономики.

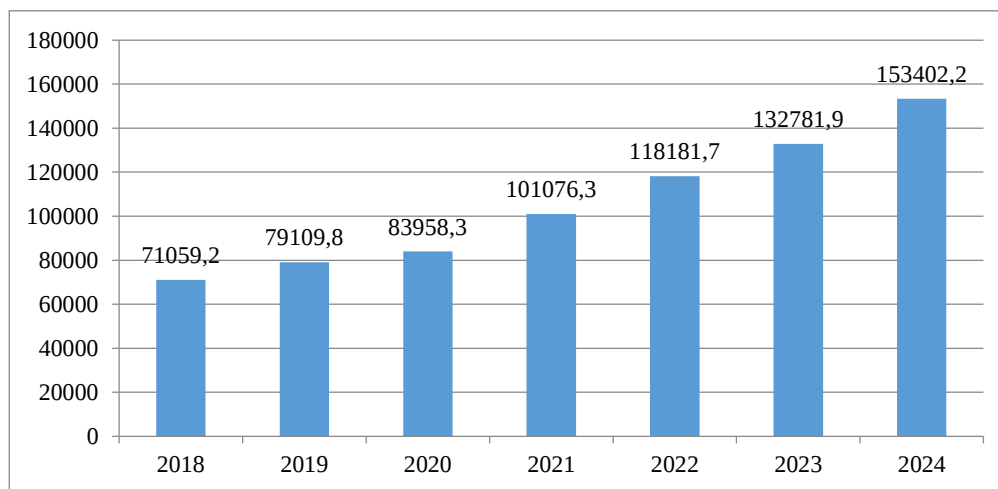


Рисунок 2 – Валовой внутренний продукт Республики Таджикистан

Данные ВВП за период с 2018 по 2024 годы показывают стабильный рост показателей экономики РТ: с 71 059,2 млн сомони в 2018 году до 153 402,2 млн сомони в 2024 году, показывая значительный рост производственного потенциала, увеличение выпуска товаров и доходов населения. Повышение макроэкономической активности способствует росту внутренних и

транзитных перевозок грузов, увеличению нагрузки на транспортную инфраструктуру и логистические центры.

Доля отраслей в валовом внутреннем продукте страны позволяет определить вклад в него разных секторов экономики, при этом показывая уровень развития отрасли, её роль в общей структуре экономики и степень специализации регионов. Чем больше удельный вес отрасли, тем значительнее её влияние на экономические показатели, объем налоговых поступлений и инвестиционную активность. ВРП является региональным аналогом ВВП страны, отражая экономический потенциал, структуру и динамику развития конкретного региона. Уровень и структура ВРП оказывают влияние на формирование транспортно-логистических потоков грузов, определяя объёмы и виды товаров, которые подлежат перевозке, а также требования к логистической инфраструктуре транспорта. Регионы, имеющие большой промышленный ВРП, формируют массовые и постоянные грузопотоки, включающие в себя сырьё, стройматериалы, промышленные товары и продукцию переработки. Хатлонская область, как аграрный регион с высоким ВРП, формирует сезонные скоропортящиеся потоки плодоовощной, фруктовой, бахчевой и мясной продукции, требующих применения хладотранспорта, пунктов сортировки и агрологистических узлов. Регионы с небольшим ВРП и сложным рельефом местности, например, ГБАО, формируют относительно малые, но важные грузопотоки, которые обеспечивают продовольственную безопасность и материально-техническую поддержку населения.

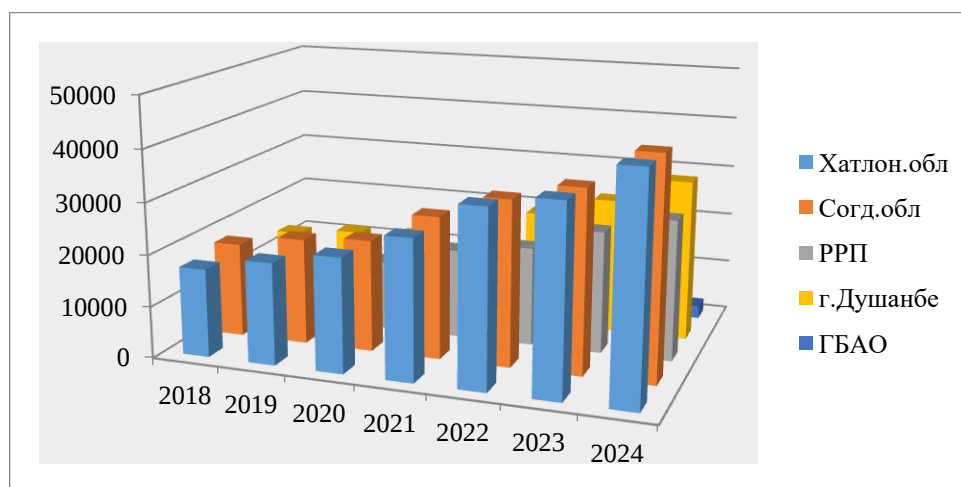


Рисунок 3 – Валовой региональный продукт 2018-2024гг

Анализ валового регионального продукта регионов страны за 2018–2024 годы показывает стабильный экономический рост во всех административных единицах. В связи с активным развитием сельского хозяйства и перерабатывающих мощностей ВРП в Хатлонской области увеличился с 17 107,5 млн сомони в 2018г. до 42 803,6 млн сомони в 2024г. Согдийская область с развитой промышленной базой нарастила ВРП с 18 343,8 млн. до 42 433,3 млн. сомони, формируя устойчивые массовые грузопотоки промышленных и сырьевых товаров.

Таким образом, динамика ВРП определяет основные генераторы грузопотоков, позволяет оценить нагрузку на транспортную инфраструктуру и формирует стратегические решения по выбору расположения ТЛЦ с оптимизацией маршрутов, что в свою очередь способствует росту эффективности перевозок и стабильному развитию регионов РТ.

Объём и структура промышленного производства административного региона во многом зависят от экономического потенциала, выраженного ВРП, формируя характер транспортно-логистических грузопотоков, определяя требования к транспортной инфраструктуре и распределительным центрам. Промышленность является ключевым звеном экономики страны, показывая масштабы и активность производственной деятельности в различных отраслях.

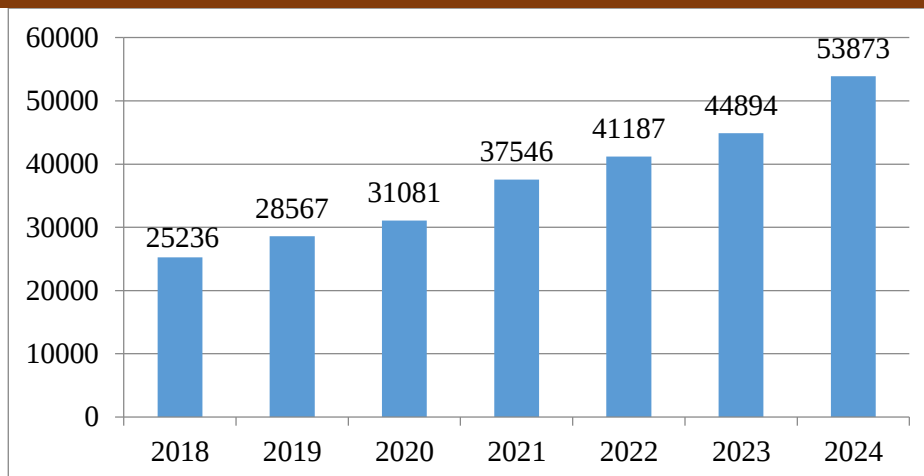


Рисунок 4 – Объем промышленного производства в 2018-2024гг.

Анализ динамики промышленного производства Таджикистана за 2018–2024 годы отражает устойчивый рост экономической активности. В 2018 году объем промышленного производства составлял 25 236 млн сомони, а к 2024 году вырос до 53 873 млн сомони, показывая рост производственного потенциала, требующего транспортировки и логистического сопровождения. Увеличение производства сельскохозяйственных товаров создаёт сезонные и скоропортящиеся потоки, включающие в себя хлопок, плодоовощную и бахчевую продукцию, а также живой скот, что в свою очередь формирует соответствующие требования к транспортной логистической инфраструктуре. Большой объем товаров сельского хозяйства требует наличия современных технологичных складских и холодильных помещений, перерабатывающих комплексов, а также оперативной организации перевозок грузов на внутренний и внешний рынки. Структура производства сельского хозяйства формирует тип транспортируемых грузов и интенсивность их перевозки с оказанием влияния на планирование маршрутов доставки и выбор местоположения ТЛЦ [3].

На территориях с большим объемом сельскохозяйственного производства логистика является основой обеспечения экономической устойчивости, снижения издержек при транспортировке грузов и роста эффективности транспортно-логистической системы региона.

Региональная доля производимых сельскохозяйственных товаров от общего объема сельхозпроизводства, являясь важным структурным показателем аграрного сектора, позволяет выявить области, формирующие основные сезонные и скоропортящиеся потоки грузов. Расчёт доли производится как отношение объема продукции отдельного региона к общему объёму производства страны, показанное в процентах. Хатлонский регион с показателем 39 148 413 тыс. сомони от общего объема сельскохозяйственного производства страны составляет около 50–55 % всей продукции сельского хозяйства, определяя её ведущую роль в аграрной экономике РТ.

Согдийская область с объемом 22 383 180 тыс. сомони составляет около 28–30 %, а районы республиканского подчинения и Горно-Бадахшанская автономная область — соответственно оставшиеся меньшие объёмы. Количество производимых товаров оказывает влияние на транспортно-логистические потребности территорий, где регионы с большой долей сельскохозяйственной продукции требуют формирования специализированных агрологистических центров, складских и холодильных помещений с оптимизацией маршрутов перевозки при организации своевременной доставки грузов на внутренние и внешние рынки сбыта.

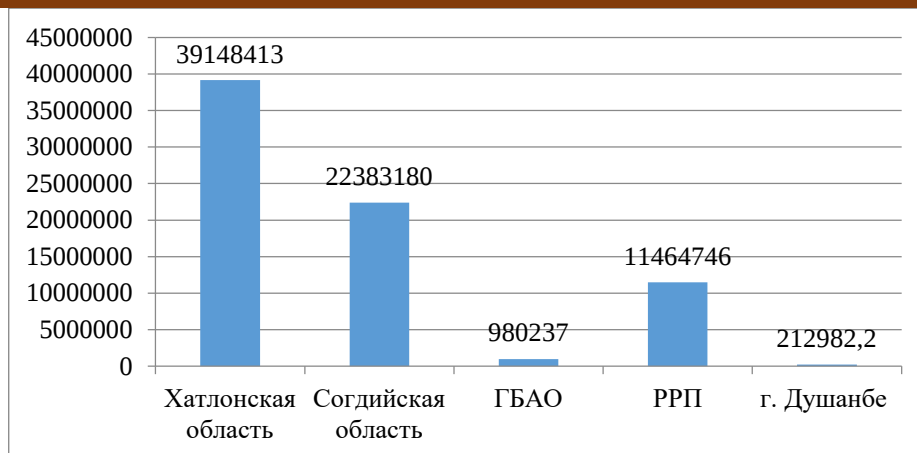


Рисунок 6 – Объем сельскохозяйственного производства

Заключение

Проведённый анализ основных отраслей экономики регионов страны и их влияние на транспортно-логистические грузопотоки даёт основание сделать некоторые научно обоснованные выводы о динамике, структуре и перспективах развития экономики, а также об эффективном формировании устойчивой и оптимальной транспортной логистической инфраструктуры. У каждого региона имеется своя экономическая специфика, определяющая характер, структуру и виды грузопотоков, а также требования к транспортной системе и складским мощностям.

Рецензент: Гуломзода Қ.Х. – к.т.н., заместитель директора ТУ «Автомобильный транспорт и логистическое обслуживание».

Литература

1. Рахмангулов А.Н. Методологические основы организации функционирования железнодорожных промышленных транспортно-технологических систем [Текст]: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Рахмангулов Александр Нельевич. - Москва, 2012. - 374 с.
2. Низомзода Ф.Н. Использование кластерного анализа при размещении транспортно-логистических центров в Хатлонской области (на примере районов Кулябского региона) / Ф. Н. Низомзода // Светоч науки. – 2025. – № 3. – С. 53-56. – EDN JRLXHK
3. Низомзода, Ф. Н. Размещение транспортно-логистических центров в Республике Таджикистан и их роль в повышении эффективности работы транспорта / Ф. Н. Низомзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – № 3(67). – С. 42-46.
4. Каролина А. С. Развитие региональной транспортно-логистической системы доставки грузов (на примере Самарской области).
5. Низомзода Ф.Н. Использование кластерного анализа при размещении транспортно-логистических центров в Хатлонской области (на примере районов Кулябского региона)/-Международный научный журнал Сияние науки №3, 2025г.
6. Наджмудинов Ф.Н. Прогнозирование грузопотоков по международным транспортным коридорам Республики Таджикистан/Наджмудинов Ф.Н., Гафуров Ф.Дж., Самадов Т.У.//Вестник Технологического университета Таджикистана, серия экономические исследования. – Душанбе: ТУТ, 2018, №2 (33) – С. 66-72. ISBN978-99947-0-022.
7. Раджабов, А. А. Инновационный процесс рынка автосервисных услуг на сельской территории Таджикистана / А. А. Раджабов, А. Б. Султонов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – Т. 2, № 4(40). – С. 85-94. – EDN YMJXCR.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Низомзода Фахридин Низом	Низомзода Фахридин Низом	Nizomzoda Fakhridin Nizom
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences, associate Professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: fakhridin670@gmail.com		

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПРОСА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ: КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ И СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ

С.Р. Чоршанбиев

Таджикский национальный университет

В данной статье рассматриваются методологические подходы к разработке сценариев прогнозирования спроса на электроэнергию, базирующиеся на анализе показателей выработки и потребления электроэнергии. Автором проведен комплексный обзор отечественной и зарубежной научно-отраслевой литературы, в ходе которого систематизированы существующие методы краткосрочного и долгосрочного прогнозирования. Практическая значимость исследования заключается в разработке авторской прогностической модели роста электропотребления для экономики Таджикистана на период до 2030 года с использованием программного инструментария EViews. В работе представлены результаты моделирования по трем сценариям развития. Сравнительный анализ показал, что отклонения полученных расчетных значений от целевых индикаторов государственных программ составляет 2,4%. Данный результат находится в рамках допустимой статистической погрешности, что подтверждает прогностическую точность и адекватность предложенной модели.

Ключевые слова: электроэнергетическая инфраструктура, спрос, прогнозирование, модель, государственные программы развития, множественная регрессия, производство электроэнергии.

МОДЕЛСОЗИИ СЕНАРИЯВИИ ИСТЕҲСОЛИ НЕРҶИ БАҶҚ ДАР АСОСИ БАҶОДИҶИИ ТАЛАБОТ БА ИСТЕҲМОЛИ ОН

С.Р. Чоршанбиев

Дар ин мақола равишҳои методологии таҳияи сенарияҳои пешгӯии талабот ба нерӯи барқ дар асоси таҳлили нишондиҳандаҳои истеҳсол ва истеъмоли қувваи барқ баррасӣ карда мешавад. Муаллиф тадқиқи ҳамаҷонибаи адабиёти илмӣ ватанӣ ва байналмилалиро анҷом дода, усулҳои мавҷудаи пешгӯии кӯтоҳмуддат ва дарозмуддатро ба низом даровардааст. Аҳамияти амалии ин тадқиқот дар таҳияи модели хусусии пешгӯии афзоиши истеъмоли нерӯи барқ дар иқтисоди Тоҷикистон то соли 2030 бо истифода аз абзори нармафзори EViews мебошад. Дар мақола натиҷаҳои моделсозӣ барои се сенарияи рушд оварда шудааст. Таҳлили муқоисавӣ маълум кард, ки фарқияти арзишҳои ҳисобшудаи бадастомада аз нишондиҳандаҳои мақсадноки барномаҳои давлатӣ 2,4 фоизро ташкил медиҳад. Ин натиҷа дар доираи ҳатогиҳои омории қобили қабул буда, дурустии пешгӯӣ ва мувофиқати модели пешниҳодшударо тасдиқ мекунад.

Калидвожаҳо: инфрасохтори электроэнергетикӣ, талабот, дурнамасозӣ, барномаҳои рушди иқтисодӣ, регрессияи бисёрмоила, истеҳсоли нерӯи барқ.

ELECTRICITY DEMAND MODELING: KEY FACTORS AND DEVELOPMENT SCENARIOS

S.R. Chorshanbiev

This article examines methodological approaches to developing electricity demand forecasting scenarios based on an analysis of electricity generation and consumption indicators. The author conducted a comprehensive review of domestic and foreign scientific literature, systematizing existing methods of short-term and long-term forecasting. The practical significance of the study lies in the development of a proprietary predictive model for electricity consumption growth for the economy of Tajikistan through 2030 using the EViews software toolkit. The paper presents modeling results for three development scenarios. A comparative analysis showed that the deviation of the obtained calculated values from the target indicators of state programs is 2.4%. This result is within the permissible statistical error, confirming the predictive accuracy and adequacy of the proposed model.

Keywords: electric power infrastructure, demand, forecasting, model, government development programs, multiple regression, electricity generation.

Введение

На современном этапе социально-экономического развития Республики Таджикистан наблюдается устойчивая динамика макроэкономических показателей развития национальной экономики [6]. Тем не менее, обеспечение макроэкономических параметров экономического развития зависит от эффективности функционирования инфраструктурных отраслей экономики, к числу которых относиться электроэнергетический сектор [5]. Электроэнергетика, выступая базовой инфраструктурной отраслью, является ключевым фактором обеспечения стабильного и надежного электроснабжения всех сфер хозяйственной деятельности [9].

В современных условиях роль электроэнергетики трансформировалась: сегодня это не просто часть инфраструктуры, а локомотив стратегического развития экономики, от устойчивости которой зависит эффективность реализации целей развития государства в таких приоритетных

направлениях, как цифровизация экономической деятельности, переход к зеленой экономике, ускоренная индустриализация, повышение уровня и качества жизни населения. Вместе с тем масштаб и темпы реализации вышеуказанных направлений развития экономики приводят к существенному возрастанию спроса на электроэнергию и увеличению производственных мощностей. В долгосрочной программе «Национальная Стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года» и в Среднесрочной программе развития на 2026-2030 годы удовлетворение спроса на электроэнергию и мощность на среднесрочную и долгосрочную перспективу рассматривается в качестве ключевой задачи, стоящей перед отраслью, наряду с такими ключевыми целями как повышение устойчивости работы энергетической системы, сокращение потерь электроэнергии в сетях, цифровизация электроэнергетического сектора и др. [7].

В последние два десятилетия спрос на электроэнергию в республике в разрезе всех категорий потребителей увеличивался в среднем на 2,9 % в год, и по прогнозам специалистов в перспективе до 2030 г. эта тенденция может сохраниться [2]. Вопросам исследования и прогнозирования спроса на электроэнергию уделяется достаточно большое внимание со стороны зарубежных и отечественных учёных [5, 1].

В научных трудах и отраслевых исследованиях по вопросам прогнозирования и экономической оценки спроса на электроэнергию представлен широкий спектр методов и моделей, учитывающих современные тенденции электропотребления [2]. Среди таких моделей наиболее распространенной является модель множественной регрессии на основе метода наименьших квадратов.

Целью представленного исследования является выявления взаимосвязи между объемом потреблением электроэнергии со стороны всех категорий потребителей на основе анализа динамики ретроспективных показателей электропотребления и на этой основе разработка сценария изменений спроса на электроэнергию в Республики Таджикистан на среднесрочную перспективу до 2030 г.

Методы исследования

В основу исследования заложен сценарный подход и методы эконометрического моделирования. Прогностическая модель спроса на электроэнергию до 2030 г. реализована в программной среде EViews на базе ретроспективного анализа показателей выработки и потребления. Для верификации результатов применен сравнительный анализ расчетных данных.

Анализ показателей производства и потребления электроэнергии в Республике Таджикистан

В таблице 1 приведены данные о производстве электроэнергии и ежегодные темпы ее прироста в период 2004-2024 гг. Анализ данных таблицы показывает, что производство электроэнергии в рассматриваемый период имеет устойчивую тенденцию к росту. Если в 2004 г. объем производства составлял 16,5 млрд. кВт*ч, то в 2024 г. он увеличился до 22,4 млрд. кВт*ч, что свидетельствует об общем положительном росте на 35,7% по сравнению с базисным годом. В целом, динамика показателей свидетельствует о положительном долгосрочном тренде производства электроэнергии.

Таблица 1– Показатели производства электроэнергии в Республики Таджикистан (2004–2024 гг.).

Показатель	2004	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Производство, млрд. кВт*ч	16,5	17,1	17,2	18,1	19,7	20,6	19,7	20,6	21,4	21,8	22,4
Темп прироста производства электроэнергии к 2004г., %	-	3,6	4,2	9,6	19,3	24,8	19,3	24,8	29,6	32,1	35,7

Составлено на основе: Статистический ежегодник Республики Таджикистан, Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан, 2025. С.269-270

За анализируемый период наблюдается рост объема потребления электроэнергии, а также прослеживаются структурные изменения электропотребления среди различных категорий потребителей. Наблюдается устойчивый рост потребления электроэнергии со стороны населения и отдельных отраслей экономики. Следовательно, такая тенденция взаимосвязана с такими структурными изменениями в экономике, как рост сферы услуг и повышение бытового энергопотребления. Однако, в разрезе категорий электропотребителей за рассматриваемый период существенно снизилось потребление сферы промышленности (с 41,6 % в 2004 г. до 24,2% к 2024 г.), энергопотребление населения и сектора услуг соответственно выросло (с 15,4 % в 2004 г. до 39,1 % к 2024 г. и с 2,3% в 2004 г. до 25,4% к 2024 г. соответственно).

Таблица 2 – Динамика потребления электроэнергии по отдельным группам потребителей в Таджикистане за 2004-2024 гг. (млрд. кВт*ч)

Потребление электроэнергии	2004	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Всего, в том числе по отраслям:	16,8	15,8	15,9	16,8	15,5	15,1	15,4	13,8	14,7	15,3	16,1
Промышленность	7	4,2	4,1	3,8	3,8	4	2,7	3,9	3,8	3,59	3,9
Сельское хозяйство	4,3	4,3	4,6	4,9	2,2	2,3	2,6	2,1	2,2	2,5	1,7
Транспорт	0,04	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,009	0,008	0,007
Строительство	0,02	0,05	0,07	0,2	0,04	0,05	0,06	0,04	0,029	0,014	0,007
Население	2,6	3	4	3,9	5,5	6	6,9	5,4	5,9	6,0	6,3
Другие отрасли	0,4	1	4,3	1,1	2,6	2,7	3,1	2,3	3,2	3,2	4,1
Потери	2,5	2,7	2,7	2,9	2,9	2,4	2,5	4,1	3,7	3,7	3,6

Составлено на основе: Статистический ежегодник Республики Таджикистан, Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан, 2025. - 270с.

По результатам анализа показателей объема производства и потребления электроэнергии в целом по республике в последние годы фиксируется положительная динамика. Вместе с тем, с положительными аспектами в плане роста темпов объемов производства и потребления электропотребления также сохраняется проблема потерь электроэнергии, что свидетельствует о наличии системных проблем в функционировании электроэнергетической инфраструктуры. Таким образом, прогнозирование структурных изменений электропотребления подтверждает актуальность проблем оценки и среднесрочного прогнозирования спроса электропотребителей.

В целях дальнейшего анализа, была дана экономическая оценка и проанализирована зависимость факторов потребления и производства электроэнергии для интервального прогнозирования ежегодно растущего спроса в разрезе категорий потребителей. Так, основными факторами, отражающими уровень спроса на электроэнергию по секторам экономики, являются следующие сферы: промышленность, сельское хозяйство, транспорт, строительство, а также население и уровень потерь электроэнергии.

В качестве основных факторов нами были выбраны:

У – спрос на электроэнергию (млрд. кВт*ч)

x₁ - промышленность;

x₂- сельское хозяйство

x₃- транспорт

x₄- строительство

x₅- население

x_6 – другие потребители

x_7 – потери

Объём производства электроэнергии в стране статистически значимо зависит от уровня потребления электроэнергии по основным секторам экономики: промышленность, сельское хозяйство, транспорт, строительство, население и прочие отрасли экономики.

Таким образом, предполагается, что изменение спроса в любой из этих отраслей приводит к изменению общего объёма производства электроэнергии. На основе этих факторов приведен тест на корреляцию.

Таблица 3 – Парные коэффициенты корреляции между показателями электропотребления в Республике Таджикистан за 2004-2024

	Y	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1
Y	1	0.684	0.918	0.804	-0.290	-0.514	-0.697	-0.678
X7	0,684	1	0.523	0.442	-0.287	-0.372	-0.587	-0.368
X6	0.918	0.523	1	0.932	-0.122	-0.485	-0.803	-0.872
X5	0.804	0.442	0.932	1	-0.098	-0.427	-0.874	-0.941
X4	-0.290	-0.287	-0.122	-0.098	1	0.195	0.161	-0.131
X3	-0.514	-0.372	-0.485	-0.427	0.195	1	0.395	0.328
X2	-0.697	-0.587	-0.803	-0.874	0.161	0.395	1	0.808
X1	-0.678	-0.368	-0.872	-0.941	-0.131	0.328	0.808	1

Составлено автором. На основе программы «EViews»

Так как между влияющими факторами существует мультиколлинеарность, нам необходимо провести диагностику на **VIF (Variance Inflation Factor)** результаты которой предоставлены в **таблице**.

Таблица 4 – Результаты проверки на мультиколлинеарность

Переменная	R^2 регрессии	VIF
X1	0,85	6,6666
X2	0,83	5,8823
X3	0,28	1,3888
X5	0,94	16,6666
X6	0,83	5,8823
X7	0,36	1,5625

* 1-2 – корреляции практически нет

2-5 умеренная, допустимая

5-10 повышенная, но допустимая в макромоделях

> 10 критическая мультиколлинеарность

По результатам таблицы можно сделать вывод, что только у фактора X5 с остальными факторами существует мультиколлинеарность. Но необходимо отметить, что показатель X5 – потребление населения, а оно всегда имеет корреляцию со всеми показателями, которые влияют на рост производства электроэнергии. Таким образом, нам необходимо оставить данный показатель как влияющий фактор, так как он является одним из основных секторов потребления электроэнергии в Таджикистане (почти 39,1% потребления приходится на население).

Результаты проведенного теста показывают, что среди факторов регрессии только у фактора x_4 – строительство имеется не значительное влияние на изменение структуры потребителей. Исходя из этого, при построении регрессионного уравнения данный фактор был исключен.

По результатам теста на корреляцию потенциальных факторов электропотребителей целесообразно построить регрессионное уравнение.

Таблица 5 – Построение регрессионного уравнения влияния факторов на электропотребителей (2004-2023 гг)

Зависимая переменная: Y				
Метод: Наименьших квадратов				
Выборка: 2004 -2023				
Включено наблюдений: 20				
Переменные	Коэффиц.	Стан.ошибки	t-Статистика	Верот.
C	4.516927	3.607068	1.252243	0.2343
X1	0.563661	0.250582	2.249410	0.0440
X2	0.711766	0.365628	1.946696	0.0754
X3	0.377897	3.234888	0.116819	0.9089
X4	-0.229697	2.398123	-0.095782	0.9253
X5	0.628195	0.398398	1.576801	0.1408
X6	1.832151	0.345156	5.308187	0.0002
X7	1.100463	0.299168	3.678410	0.0032
R-квадрат	0.958377	Средняя зависимая переменная		17.97550
Скоррек. R-квадрат	0.934097	С.Д. зависимая переменная		1.900694
Станд.ошибка регрессии	0.487938	Инфор.критерий Акаике		1.691918
Сумма квадрат.остатков	2.857002	Критерий Шварца		2.090210
Логариф.вероятность	-8.919176	Критерий Ханнана-Куинна		1.769669
F-статистика	39.47180	Статистика Дарбина-Уотсона		2.746520
Вероят(F-статистика)	0.000000			

Составлено автором. На основе программы «EViews»

Как показывают результаты анализа таблицы, по всем параметрам моделирования все коэффициенты и результаты тестов отвечают требованиям, то есть регрессия рабочая.

Но так как фактор **X4** – строительство показал отрицательное влияние на рост производства, гипотеза отвергается, так как рост потребления в сфере строительства не уменьшает общего объема производства электроэнергии. Поэтому мы решили исключить данный фактор **x4** от построенного регрессионного уравнения.

Таблица 6 – Построение регрессионного уравнения влияния факторов на электропотребителей (2004-2023 гг) без учета фактора строительства

Зависимая переменная: Y				
Метод: Наименьших квадратов				
Выборка: 2004 -2023				
Включено наблюдений: 20				
Переменные	Коэффиц.	Станд.ошибка	t- Статистика	Вероят.
C	4.417672	2.753065	1.604638	0.1309
X1	0.574212	0.171941	3.339582	0.0049
X2	0.710203	0.338672	2.097023	0.0546
X5	0.640775	0.327656	1.955633	0.0708
X6	1.824064	0.313337	5.821418	0.0000
X7	1.101745	0.271244	4.061816	0.0012
R-квадрат	0.958345	Средняя зависимая переменная		17.97550
Скоррек. R-квадрат	0.939120	С.Д. зависимая переменная		1.900694
Станд.ошибка регрессии	0.468975	Инфор.критерий Акаике		1.592682
Сумма квадрат.остатков	2.859186	Критерий Шварца		1.941188
Логариф.вероятность	-8.926818	Критерий Ханнана-Куинна		1.660714
F-статистика	49.84821	Статистика Дарбина-Уотсона		2.753891
Вероят(F-статистика)	0.000000			

Составлено автором. На основе программы «EViews»

По результатам оценивания методом наименьших квадратов модель имеет вид:

$$Y = 4.417672 + (0.574212 \cdot X_1) + (0.710203 \cdot X_2) + 0.640775 \cdot X_5 + (1.824064 \cdot X_6) + (1.101745 \cdot X_7)$$

Таким образом, при увеличении каждой независимой переменной на **1 единицу** значение **Y** изменяется следующим образом:

При увеличении	X1	на	1-Y	возрастает	на	0.574.
При увеличении	X2	на	1-Y	возрастает	на	0.710.
При увеличении	X5	на	1-Y	возрастает	на	0.640.
При увеличении	X6	на	1-Y	возрастает	на	1.824 (самый сильный эффект).
При увеличении	X7	на	1-Y	возрастает	на	1.101.

Используя данное уравнения, мы решили спрогнозировать спрос электроэнергии до 2030 года.



Рисунок 1 – Сценарии уровня спроса на электроэнергию на основе взаимосвязанности факторов
 Источник: составлено автором.

1. **Инерционный сценарий.** При данном сценарии все влияющие показатели были увеличены на 10 % (годовой прирост равняется 10%), только показатель X7 – потери были уменьшены на 10%. (32,6)

2. **Ускоренная индустриализация.** При данном сценарии предполагается, что рост промышленности ежегодно составит 20%, а остальные показатели остаются как в инерционном сценарии. (42,6)

3. **Сценарий спроса на электроэнергию на основе показателей развития отраслей.** При данном сценарии предполагается, что рост промышленности составит 20%, а в других отраслях 10%. (36,04)

Выводы и рекомендации

Таким образом, факторный анализ корреляции значимых потребителей электроэнергии характеризует положительную динамику поэтапной реализации энергетической политики страны в приоритетах стратегического развития национальной экономики. Следует отметить, что в программе среднесрочного развития экономики Республики Таджикистан на период 2026-2030 гг. планируется довести уровень производства электроэнергии в 2030 г. до 37,094 млрд. кВт·ч. Результаты сценарного моделирования по второму сценарию, то есть с учетом ускоренной индустриализации, свидетельствует о том, что в 2030 г. объем спроса на электроэнергию страны достигнет 36,04 млрд. кВт·ч.

Согласно результатам наших расчётов, прогнозируемый рост спроса на электроэнергию будет варьироваться в диапазоне от 4,5 до 6%. В среднем за рассматриваемый период этот показатель составил 5,4%, колебания от отраслевых программ составляет 2,5% (в Программе развития электроэнергетического сектора на 2026-2030 гг., этот показатель составляет в среднем 2,9%). Столь высокая динамика обусловлена нашими расчетами, указывающими на опережающие темпы роста потребления электроэнергии в промышленном секторе.

Систематизация регрессии факторов потребителей электроэнергии, с учетом непредвиденных рыночных факторов и конъюнктуры мирового рынка электроэнергии характеризует положительную динамику производства электроэнергетики Республики Таджикистан.

Рецензент: Юнусзода Х.К. – к.э.н., доцент, заведующий отделом зелёной экономики и устойчивого развития Института экономики и демографии ИЭДН.

Литература

1. Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года // Утверждено Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 1 октября 2016 года, № 392. - Душанбе: «КОНТРАСТ», 2016. - С.12-26.
2. Программа развития электроэнергетического сектора на 2026-2030 годы. Утверждено Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 26 ноября 2025 года, № 648.
3. Аламшоева, М. М. Анализ реальной ситуации и прогнозирование отрасли энергетики / М. М. Аламшоева // Финансово-экономический вестник. – 2023. – № 2(36). – С. 119-129. – EDN OOLMZH.
4. Афанасьев, В. Я. Прогнозирование спроса на электроэнергию и мощность / В. Я. Афанасьев, О. С. Карпова, Н. Г. Любимова. – Москва: Государственный университет управления, 2019. – 100 с. – ISBN 978-5-215-03171-1. – EDN ZGZWQX.
5. Ахророва, А. Д. Инвестиционная активность энергетической и транспортной инфраструктуры Таджикистана в условиях долговых обязательств / А. Д. Ахророва, Ф. Д. Бобоев, Ш. Н. Саидова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 3(67). – С. 86-96.
6. Мазурова О. В., Гальперова Е. В., Локтионов В. И. Перспективная оценка спроса на электроэнергию в РФ и регионах с учетом углубленной электрификации // Экономика региона. 2022. Т. 18, вып. 2. С. 528-541. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-2-16>.
7. Муминова, Ф. М. Макроэкономические аспекты реализации стратегических целей развития Республики Таджикистан: состояние и постановка задач / Ф. М. Муминова // Экономика Таджикистана. – 2025. – № 4. – С. 37-48. – EDN OKLXSS.
8. Чоршанбиев, С. Р. Методические аспекты оценки функционирования и развития электроэнергетической инфраструктуры / С. Р. Чоршанбиев // Вестник Педагогического университета. Естественные науки. – 2022. – № 4(16). – С. 164-171.
9. Статистический ежегодник Республики Таджикистан, Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан, 2024. - 442с.
10. Тиллоева, П. Р. К вопросу оценки факторов, влияющих на экономическую безопасность Таджикистана / П. Р. Тиллоева, З. С. Раджабова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 2(46). – С. 64-67. – EDN QCILSN.

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

TJ	RU	EN
Чоршанбиев Садриддин Ражаббокиевич	Чоршанбиев Садриддин Ражаббокиевич	Chorshanbiev Sadridin Razhabbokievich
Муаллими калон	Старший преподаватель	Senior Lecturer
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: sadriddin.c@mail.ru		

МАСЪАЛАИ ИСТИФОДАИ ОҚИЛОНАИ НЕРУӢИ БАРҚ ВА САМАРАНОКИИ ОН**М.И. Исмоилов, Ф.Б. Усмонзода, Қ.Н. Убайдзода**

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Истифодаи самараноки неруи барқ ва сарфаи он яке аз омилҳои асосии рушди устувори иқтисодӣ ҳамаҷонибаи ҳалқ ва баланд бардоштани рақобатпазирии истеҳсолот ба шумор меравад. Истифодаи оқилонаи неруи барқ имкон медиҳад, ки ҳароҷоти истеҳсоли қушӣ ёфта, молу маҳсулот бо нархи дастрас ба истеъмолкунандагон пешниҳод карда шаванд. Татбиқи технологияҳои муосири каммасраф, бехтар намудани низоми идоракунии энергетикӣ корхонаҳо, истифодаи таҷҳизотҳои муосир ва баландбардоштани фарҳанги истеъмоли барқ ба иқтисоди миллӣ манфиатҳои назаррас меорад. Масъалаи кам намудани талафоти неруи барқ дар шабакаҳои энергетикӣ, корхонаҳои саноатӣ ва биноҳои истиқоматӣ тавассути технологияҳои инноватсионӣ имконпазир буда, дар мақолаи мазкур мавриди муҳокима қарор гирифтааст. Дар мақолаи мазкур самаранокии истифодаи технологияҳои масрафкунандаи энергия, ки яке аз самтҳои муҳими рушди иқтисодӣ ва таъмини амнияти энергетикӣ кишвар мебошад, илман асоснок шудааст.

Калидвожаҳо: *Неруи барқ, неругоҳ, самаранокиӣ, сарфаи неруи барқ, истеҳсол, технологияҳои муосир, энергия, корхонаҳои саноатӣ, биноҳои истиқоматӣ, низоми Биллинг ва низоми SCADA.*

К ВОПРОСУ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ**М.И. Исмоилов, Ф.Б. Усмонзода, К.Н. Убайдзода**

Эффективное использование электроэнергии и её экономия являются одним из главных факторов устойчивого развития национальной экономики и повышения конкурентоспособности производства. Рациональное использование электроэнергии позволяет снизить производственные издержки и предоставляет возможности оказывать услуги потребителям по доступным ценам. Внедрение современных энергосберегающих технологий, совершенствование системы энергоменеджмента предприятий, использование современного оборудования и повышение культуры потребления электроэнергии приносят значительные выгоды национальной экономике. Вопрос снижения потерь электроэнергии в электросетях, промышленных предприятиях и жилых домах с помощью инновационных технологий является возможным и рассматривается в рамках данной статьи. В рамках данной статьи, научно обосновано эффективность использования энергосберегающих технологий что является одним из важных направлений развития экономики и обеспечения энергетической безопасности страны.

Ключевые слова: *электроэнергетика, электростанция, эффективность, энергосбережение, производство, современные технологии, энергетика, промышленные предприятия, жилые здания, система учета и SCADA-система.*

ON THE RATIONAL USE OF ELECTRICITY AND ITS EFFICIENCY**M.I. Ismoilov, F.B. Usmonzoda, K.N. Ubaidzoda**

Efficient use and conservation of electricity are key factors in the sustainable development of the national economy and increased competitiveness of production. Rational use of electricity reduces production costs and provides opportunities to provide services to consumers at affordable prices. The introduction of modern energy-saving technologies, the improvement of enterprise energy management systems, the use of modern equipment, and improved energy consumption practices bring significant benefits to the national economy. Reducing electricity losses in power grids, industrial enterprises, and residential buildings using innovative technologies is feasible and is discussed in this article. This article provides a scientific justification for the effectiveness of energy-saving technologies, which is a key area of economic development and ensuring the country's energy security.

Keywords: *electric power industry, power plant, efficiency, energy conservation, production, modern technologies, energy, industrial enterprises, residential buildings, metering system, and SCADA system.*

Муқаддима

Неруи барқ яке аз захираҳои асосии рушди иқтисодиву иҷтимоии ҷомеа мебошад. Ҳар қадар ки истеъмоли он бо роҳҳои дуруст ва мутаносиб сурат гирад, ба ҳамагон андоза ҳароҷоти давлатӣ, истеҳсолот ва хонаводаҳо кам гардида, самаранокии умумии иқтисодӣ баланд мегардад. Соҳаи Энергетика ин соҳаи ҷудонашавандаи истеҳсолот ба шумор рафта, мунтазамнокии ҷаҳонро таъмин мекунад. Бояд қайд намуд, ки беш аз 98% и неруи барқ дар Тоҷикистон аз ҳисоби манбаҳои барқароршаванда, яъне неругоҳҳои барқии обӣ истеҳсол шуда, аз рӯи истеҳсоли “Энергияи сабз” Тоҷикистон дар қатори ҳашт кишвари пешсафи сайёра қарор дорад. Истеҳсоли миёнаи солонаи неруи барқ дар системаи энергетикӣ Тоҷикистон аз ҳисоби неругоҳҳои барқии обӣ 17 млрд кВт/соатро ташкил медиҳад. Дар фасли зимистон кишвар ба норасоии неруи барқ дар ҳаҷми 2.5 млрд кВт/соат дучор шуда, зарурати маҳдудияти интиқоли неруи барқ ба аҳолии кишвар махсусан дар деҳот, ки 70%-и аҳолии Тоҷикистонро ташкил медиҳанд

пеш меояд. Дар фасли тобистон бошад, тавлиди изофагии неруи барқ ба миқдори 3-5 млрд кВт/соат ба чашм мерасад¹.

Татбиқи технологияҳои муосири каммасраф, беҳтар намудани низоми идоракунии энергетикаи корхонаҳо, истифодаи таҷҳизотҳои муосир ва баландбардоштани фарҳанги истеъмоли барқ ба иқтисоди миллӣ манфиатҳои назаррас меорад.

Мавод ва усул

Бояд қайд намуд, ки давлату ҳукумат ва миллати сарбаланди тоҷик дастуру ҳидоятҳои Пешвои муаззами миллат, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмонро сармашқи фаъолияти худ қарор дода, баҳри ҳалли мушкилоти норасоии неруи барқ дар фасли зимистон тамоми чораҳои заруриро меандешанд. Дар даврони истиқлолият, дар соҳаи энергетикаи ҷумҳурӣ 34 лоиҳаи сармоягузорӣ бо ҷалби зиёда аз 57,2 млрд сомонӣ татбиқ гардида, барои соҳа дастовардҳои мусбиро ба бор оварданд². Муҳимтарин дастовардҳо ин, мавриди истифода қарор гирифтани иқтидорҳои нави тавлиди неруи барқ, ба монанди ду агрегати иншооти азими аср ба мисли, ду агрегати неругоҳҳои барқи обии Роғун, неругоҳҳои барқи обии «Сангтӯда-1» (670 МВт), «Сангтӯда-2» (220 МВт), «Помир-1» (28 МВт), «Маркази барқу гармидиҳии Душанбе 2» (400 МВт), 274 адад неругоҳи барқи обии хурд (бо иқтидори умумии 23,2 МВт), сохтмони зеристгоҳҳои барқии 500 кВ «Душанбе-500», «Суғд-500», дастгоҳи тақсимкунандаи пӯшидаи элегазии 500 кВ дар НБО-и Норақ ва Роғун, хатҳои интиқоли барқи 500 кВ «Ҷануб-Шимол» (ба масофаи 263,8 км), «Роғун-Душанбе» (ба масофаи 198 км) зеристгоҳҳои барқии 220 кВ «Лолазор», «Хатлон», «Айнӣ», «Шаҳристон», «Шаҳринав», «Геран-2», «МОИ Данғара», дастгоҳҳои тақсимкунандаи пӯшидаи элегазии 220 кВ дар неругоҳҳои барқи обии «Норақ» ва «Қайроққум», хатҳои интиқоли барқи 220 кВ «Лолазор-Хатлон» (53,3 км) «Тоҷикистон-Афғонистон» (116 км), «Хучанд-Айнӣ» (83,2 км), «Қайроққум-Ашт» (74 км), «Геран-Румӣ» (78 км), «Қайроққум-Суғд» (63,3), «Айнӣ-Рудакӣ» (95 км), «Сангтӯда 1 – МОИ Данғара» (15,9 км) ва «Шар-Шар – МОИ Данғара» (23 км) ба масофаи умумии 604,7 км ба шумор мераванд.

Муҳокимаи натиҷаҳо

Бо вучуди ин ба ҳамагон маълум аст, ки шумораи аҳолии шаҳри Душанбе ва минтақа дар ҳолати афзоиш қарор дошта, мутаносибан талабот ба неруи барқ бахусус дар фасли зимистон ҳамасола зиёд мегардад. Қисми зиёди аҳолии Тоҷикистон аз тамоми технологияҳои муосири барқӣ бархурдор буда, дар зиндагонии ҳамаҷунун худ аз ин таҷҳизотҳои барқӣ фаъолона истифода менамоянд. Тибқи маълумотҳои омӯрӣ аҳолии шаҳри Душанбе соли 2025 ба 1 млн 200 ҳазор нафар расидааст, ки дар як шабонарӯз 6,3 млн кВт/ст қувваи барқро истифода менамоянд. Ҳамзамон дар фасли зимистон маҷрои дарёҳо кам шуда, боиси норасоии истеҳсоли неруи барқӣ зарурӣ ба аҳолии кишвар мегарданд.

Ғайр аз ин бо ташаббуси Раиси Маҷлиси миллии Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон, Раиси шаҳри Душанбе, муҳтарам Рустами Эмомалӣ чиҳати пешгирӣ намудани гармшавии бемайлоии иқлим “Барномаи рушди нақлиёти барқӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2023-2028” қабул гардид³. Дар доираи барномаи мазкур тамоми нақлиётҳои барқие, ки ба Тоҷикистон ворид мегарданд аз пардохтҳои гумрукӣ озод мебошанд. Тибқи иттилоии мақомоти гумрук: шумораи умумии воситаҳои нақлиёти барқӣ дар Тоҷикистон (шахсӣ ва ҷамъиятӣ) дар соли 2025 ба 34 354 адад расидааст, ки ба талаботи истеъмоли зиёди неруи барқ сабаб мегарданд.

Сабаби дигари норасоии неруи барқ дар даврони истиқлолият зери сиёсати хирадмандонаи Пешвои муаззами миллат, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон, афзоиши зиёди корхонаҳои саноатӣ мебошанд. Корхонаҳои саноатӣ - махсусан бахшҳои саноати вазнин, коркарди маъдан, металлургия, кимиё, семент - бузургтарин истеъмолкунандагони неруи барқ ба ҳисоб рафта, аз ҳиссаи умумӣ дар ҳаҷми 40-45% доништа мешаванд. Тибқи маълумоти омӯрӣ теъдоди корхонаҳои саноатӣ дар даврони истиқлолият чунин аст:

- Дар ибтидои даврони истиқлолият (солҳои 1990-ум), теъдоди, ки дар баъзе манбаҳо оварда шудааст, ин буд: танҳо ≈ 368 корхонаҳои саноатӣ фаъолият доштанд [3]. mid.tj

¹ Паёми Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон “Дар бораи самтҳои асосии сиёсати дохилӣ ва хориҷии кишвар” 16.12.2025с

² Баррасии рушди нақлиёти барқӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон. ttu.tj

• Дар мурочиёте, ки ба солҳои баъдтар дахл дорад - теъдоди умумии корхонаҳои саноатӣ дар муддати истиқлолият ба $\approx 2\,360$ корхона расидааст, мувофиқи маълумоти садоҳои расмӣ. mid.tj

• Дар соли 2025 (ва солҳои наздик) – шумораи корхонаҳои саноатӣ дар кишвар тақрибан 3 900 адад ҳисоб мешавад. Масалан: 3 936 корхона ва коргоҳҳои истеҳсоли дар соли 2025 ба қайд гирифта шудаанд [4].

• Аз ҷумла, бахши коркарди саноатӣ (истеҳсолӣ) – бештари корхонаҳоро дарбар мегирад: дар соли 2025 тақрибан 3 407 корхона – ё $\approx 87\%$ аз ҳамаи корхонаҳои саноатӣ – ба истеҳсолот марбут будаанд.

Дар шароити афзоиши талабот ба энергия, болоравии нархҳо ва зарурати интиқоли босуботи неруи барқ, масъалаи истифодаи самараноки неру аҳамияти махсус пайдо мекунад. Бо назардошти он ки истифодаи неруи барқ дар тамоми соҳаҳои иқтисодӣ ва иҷтимоӣ дар ҳолати афзоиш қарор дорад, самаранок ва мақсаднок истифода намудани неруи барқ аҳамияти бештар пайдо менамояд. Рушди босуръат ва истифодаи техникаю технологияҳои муосир моро водор месозад, ки дар тамоми зинаҳо, аз ҷумла истеҳсол, интиқол, тақсимот ва истифодаи барқ тадбирҳои иловагӣ андешем.

Сарфи энергия дар фасли зимистон аз ҳисоби истифодаи таҷҳизотҳои барқии каммасраф, панелҳои офтобӣ, деворҳои изолятсияшуда, тирезаҳои пластикӣ ва смартаҷҳизотҳои имконият фароҳам меоранд, ки ҳар як ҳаҷми истеъмоли неруи барқро дар ҳаҷми 20-40%-и коҳиш диҳанд. Самаранокии энергетикӣ ин истифодаи неруи барқ бо он роҳест, ки ҳосили ниҳой ё ғоидаи иқтисодӣ бо истеъмоли камтарини энергия ба даст оварда шавад. Яъне, ба даст овардани натиҷаи бештар бо хароҷоти камтар. Ин мафҳум ҳам барои корхонаҳо, ҳам барои аҳоли ва ҳам барои иқтисоди миллӣ муҳим мебошад.

Зарурат ва аҳамияти иқтисодии сарфаи неруи барқ:

1. **Коҳиши хароҷоти иқтисодӣ.** Истеъмоли оқилонаи неруи барқ арзиши ҳисобномаҳои барқро кам карда, барои корхонаҳо хароҷоти истеҳсолиро коҳиш медиҳад. Ин метавонад ба рақобатпазирӣ ва афзоиши ғоида мусоидат кунад;

2. **Баланд бардоштани самаранокии истеҳсолот.** Истифодаи таҷҳизоти каммасраф имконият медиҳад, ки миқдори маҳсулот бо ҳамон миқдори неруи барқ ё ҳатто камтар бештар истеҳсол карда шавад;

3. **Коҳиши вобастагӣ аз манбаъҳои беруна.** Барои кишварҳое, ки бахше аз энергияро ворид мекунанд, сарфаи неруи барқ метавонад вобастагӣ аз захираҳои хориҷиро коҳиш диҳад;

4. **Ҳавасмандгардонии сармоягузорӣ.** Арзон шудани хароҷоти энергетикӣ имкон медиҳад, ки маблағҳо ба соҳаҳои дигар равона шуда, рушди иқтисодӣ таъмин гардад;

5. **Муҳофизати муҳити зист.** Кам кардани истеъмоли неруи барқ боиси коҳиши истеҳсоли газҳои гулхонаӣ мегардад, ки ҳам барои иқтисод ва ҳам барои экология муфид аст.

Омилҳои баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ:

1. **Татбиқи технологияҳои каммасраф (энергосарфа).** Чароғҳои LED, муҳаррикҳои каммасраф, асбобҳои дорои стандарти “А+” ё “А++” истеъмоли неруро ба таври назаррас паст мекунанд;

2. **Баланд бардоштани фарҳанги истифодаи неруи барқ.** Хомӯш кардани асбобҳои нолозим, истифодаи дастгоҳҳо дар соатҳои махсус (пастбор), мунтазам тоза кардани таҷҳизот ва нигоҳубини дуруст ба сарфаи неру таъсири мустақим дорад;

3. **Сармоягузорӣ ба инфрасохтори энергетикӣ.** Навсозии шабакаҳо, баланд бардоштани самаранокии истгоҳҳо, кам кардани талафоти интиқол ва тақсимот барои иқтисоди миллӣ ғоидаи калон меорад;

4. **Истифодаи манбаъҳои энергияи барқароршаванда.** Энергияи офтобӣ, бодӣ ва обӣ метавонанд сарфи неруи барқро аз манбаъҳои ғайринавшаванда кам намоянд;

5. **Танзими фаъолияти соҳаи энергетикӣ дар асоси низомии SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).** Низомии мазкур мониторинг ва назорати воқеии вақтии истеҳсол, интиқол ва тақсими барқро дар системаи энергетикӣ кишвар таъмин мекунад;

6. **Танзими истифодаи неруи барқ дар асоси низомии Биллинг.** Ҳисоббаробаркунӣ (аз калмаи англисии “billing” - ҳисобнома-фактура) як системаи автоматикунонидашуда барои сабти

хизматрасониҳои истеъмолишуда ва ҳисобкунии автомати ҳисобҳои муштариён мебошад. Он унсури калидӣ дар соҳаи телекоммуникатсия, манзил ва коммуналӣ ва хизматрасониҳои ИТ мебошад, ки дар он истифодаи захираҳо (зангҳо, интернет, трафик) сабт карда мешавад, тарифҳо мувофиқи қоидаҳои муаяншуда муқаррар карда шуда, ҳисобнома-фактураҳо тартиб дода ва пардохтҳо назорат карда мешаванд.

Ёдовар мешавем, ки бо мақсади ба танзим даровардани истеъмоли энергия 15 апрели соли 2025 Президенти Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон дар қатори дигар қонунҳо ба Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон «Дар бораи ворид намудани иловаҳо ба Кодекси ҷиноятии Ҷумҳурии Тоҷикистон»⁴ имзо гузоштан. Лоиҳаи ин санад дар асоси супориши Президенти мамлакат муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон, ки 27 март соли 2025 дар маҷлиси Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон пешниҳод гардид, ки аз ҷониби Вазорати адлия таҳия ва аз тарафи Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон тасдиқ гардида аст.

Хулоса

Истифодаи самараноки неруи барқ дар фасли зимистон барои Тоҷикистон ва махсусан шаҳрҳо, аз ҷумла шаҳри Душанбе, бо истифодаи технологияҳои муосири каммасраф аҳамияти ҳаётан муҳим дорад. Дар ин фасл истеъмоли неруи барқ тадриҷан боло рафта, талафи неруи барқ зиёд ва иқтисори неругоҳҳои обӣ коҳиш меёбанд. Аз ин рӯ, истифодаи оқилона ва самараноки неруи барқ бо истифода аз таҷҳизотҳои муосир ва танзими истеҳсол ва тақсими энергия дар асоси низоми SCADA⁵ (Supervisory Control and Data Acquisition) ва танзими истеъмоли энергия дар асоси низоми Биллинг, ки метавон истеъмоли неруи барқро барои ҳар як хоҷагӣ дар ҳудуди 4 кВт/соат муайян намуд, камбудии ҷойдоштаро аз байн мебарад. Ҳисоббаробаркунӣ тамоми давраро аз ҷамъовари маълумот то ҷамъовари пардохт, аз ҷумла идоракунии тарифҳо, тахфифҳо, ҷаримаҳо ва маҳдудиятҳои муваққатии хизматрасонӣ барои пардохт накардан фаро мегирад.

Ҳамзамон, истифодаи самараноки неруи барқ дар фасли зимистон на танҳо роҳи сарфаи пул аст, балки василаи муҳим барои таъмини устувории шабака, коҳиши норасой, таъмини гармӣ, беҳбуди иқтисоди миллӣ ва ҳифзи муҳити зист мебошад. Ин амал бояд аз ҷониби ҳар як хонавода, корхона ва муассиса ба таври масъулона иҷро шавад.

Муқаррир: Бобозода Қ.О. – д.и.у., директори Институти иқтисодӣ ва демографияи АМИП.

Адабиёт

1. Паёми Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон “Дар бораи самтҳои асосии сиёсати дохилӣ ва хориҷии кишвар” 16.12.2025с;
2. Баррасии рушди нақлиёти барқӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон. ttu.tj/
3. Суханронии Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, Пешвои миллат, дар бораи ҷанбаҳои асосии сиёсати хориҷӣ ва дохилии Ҷумҳурии Тоҷикистон. <https://www.mid.tj>
4. Оҷонсии иттилоотии Авесто [манбаи электронӣ] <https://en.avesta.tj>. [Tajikistan News in English+2Pressa.tj+2](https://en.avesta.tj/Tajikistan+News+in+English+2Pressa.tj+2)
5. Сомонаи расмӣ Маркази миллии қонунгузори назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон [манбаи электронӣ] mmk.tj content/кодекси-ҷиноятии-Ҷумҳурии Тоҷикистон.
6. Исмоилов М.И., Саидзода М.Р. // Паёми политехникӣ. Силсила: Силсилаи Тадқиқотҳои муҳанисӣ. №3 (59), 2022. – Душанбе: ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 2022. – С.85-89, ISSN 2520-2227.
7. Разыков, В. А. Инвестиционная политика Республики Таджикистан и основные направления её активизации / В. А. Разыков, Ш. М. Рахимов, С. Г. Сафаров. – Душанбе: Издательство "Сарпараст", 2001. – 175 с. – EDN MTUYUK.

⁵ mmk.tj content/кодекси-ҷиноятии-Ҷумҳурии

⁶ Исмоилов М.И., Саидзода М.Р. // Паёми политехникӣ. Силсила: Силсилаи Тадқиқотҳои муҳанисӣ. №3 (59), 2022. – Душанбе: ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 2022. – С.85-89, ISSN 2520-2227

8. Мукимова, Н. Р. К вопросу о стимулировании инновационного развития и цифровой трансформации промышленности / Н. Р. Мукимова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 2(66). – С. 96-102. – EDN NDJERT.

9. 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.

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

TJ	RU	EN
Исмоилов Маҳмуд Исокович	Исмоилов Маҳмуд Исокович	Ismoilov Mahmud Isokovich
н.и.и., дотсент	к.э.н., доцент	Candidate of Economical Sciences, associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: mahmudismoilov1975@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-7541-8394		
TJ	RU	EN
Усмонзода Фатҳиддин Бадриддин	Усмонзода Фатҳиддин Бадриддин	Usmonzoda Fathiddin Badriddin
н.и.и., дотсент	к.э.н., доцент	Candidate of Economical Sciences, associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: fathiddinismonov@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-3456-9118		
TJ	RU	EN
Убайдзода Қандили Нусрат	Убайдзода Қандили Нусрат	Ubaidzoda Qandili Nusrat
н.и.и.	к.э.н.	Candidate of Economical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: gandil1991@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-3456-9118		

МУТОБИҚШАВИИ КОРХОНАҲОИ САНОАТИ МАВОДИ СОХТМОН БА МУҲИТИ РАҚОБАТНОКИИ БОЗОРИ ИҚТИСОДӢ

Ҳ.Ф. Муминова

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар замони муосир раванди сохтмон ва технологияҳои дар ин соҳа истифодашаванда ба марҳилаи хуби сифатнокӣ расидааст. Дар сохтмон ҳоло маводде истифода мегардад, ки он ба талаботи аҳоли ҷавобгӯ аст, арзиши он ҳам мувофиқи имкониятҳои истифодабарандагон аст ва барои маҳсулоти сифатан паст талабот ба таври назаррас коҳиш меёбад. Дар мақолаи мазкур мутобиқшавии корхонаҳои саноати маводди сохтмон ба муҳити рақобатнокии бозори иқтисодӣ баррасӣ мегардад.

Калидвожаҳо: мутобиқшавӣ, сохтмон, корхона, рақобатпазирӣ.

АДАПТАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ К КОНКУРЕНТНОЙ СРЕДЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РЫНКА

Х.Ф. Муминова

В наше время строительный процесс и технологии, применяемые в этой области, достигли стадии хорошего качества. В строительстве в настоящее время используется материал, который отвечает потребностям населения, его стоимость также соответствует возможностям пользователей, а спрос на продукцию низкого качества значительно снижается. В данной статье рассматривается адаптация предприятий промышленности строительных материалов к конкурентной среде экономического рынка.

Ключевые слова: адаптивность, строительство, предприятие, конкурентоспособность.

ADAPTATION OF CONSTRUCTION INDUSTRY ENTERPRISES TO THE COMPETITIVE ENVIRONMENT OF THE ECONOMIC MARKET

H.F. Muminova

Nowadays, the construction process and the technologies used in this field have reached the stage of good quality. Currently, construction uses a material that meets the needs of the population, its cost also meets the capabilities of users, and the demand for low-quality products is significantly reduced. This article examines the adaptation of the construction materials industry to the competitive environment of the economic market.

Keywords: adaptability, construction, enterprise, competitiveness.

Муқаддима

Дар шароити кунунии рушди илму техника бозор ҳамчун сохтори мураккаб боқӣ мемонад ва зерсохторҳои он бо номгӯи тиҷорӣ истеҳсолӣ, иттилоотӣ, молиявӣ ва ғайраҳо бозорро ташкил медиҳанд. Ин гуна пайвастиҳои зерсохторҳо, ки таркибдиҳандаи бозор аст, системаи меъёрҳои ҳуқуқии савдо ва тиҷоратиро ташкил медиҳанд ва онро ниҳоятан бозор номидан мумкин аст.

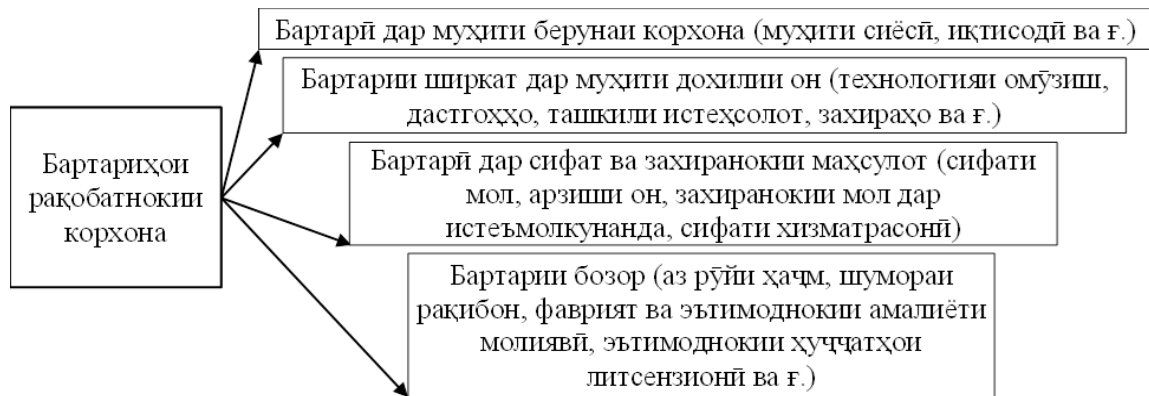
Бозор бо мафҳуми тоҷаш маконро таҷассум менамояд, ки дар он муносибатҳои бозорӣ дар авҷ аст ва ин муносибатҳо доимо дар рақобатнокии байниҳамдигарӣ қарор доранд.

Рақобатпазирӣ корхонаи саноати маводди сохтмон аз рӯи сифати маснуоти истеҳсолкардааш баҳо дода мешавад. Бо маводди баландсифат мавқеъи гирифтани корхона дар бозор меҳнат ва кӯшишҳои зиёд металабад, ки вобаста ба сифати маснуот инчунин арзиши он, гуногуннамудӣ, хусусиятҳои пешниҳод ва дигар хосиятҳо ба шумор меравад ва ҳамаи он нишондиҳандаи ба ҳама дастрас будан, дурудароз истифода гардидан ва пас аз истифода солҳои зиёд хизмат намудани масолеҳи сохтмонии ба қор бурдашударо ифода менамояд.

Калимаи “Рақобатнокӣ” аз тарҷимаи латинӣ гирифта шудааст ва бархӯрд бо ягон намуд амалро ифода менамояд. Ин истилоҳ ҳамчун мафҳуми рақобати иқтисодӣ ва ё дар умум ягон кӯшиш ва ҳаракат барои мубориза аст, ки дар ин замина ва бо ҳамин восита истеъмолкунанда ҷалб карда мешавад. Муборизаи озод ва қонунии субъектҳои хоҷагидори бозор байни ҳам моҳияти пурраи рақобатнокиро ифода намуда, мол ё хизматрасонӣ ҳамчун предмети рақобатнокӣ, истеъмолкунанда ё харидорон ҳамчун объекти он дониста мешаванд.

Агар ба тавсифоти таъминнокии бартариҳои рақобатнокии корхона аҳамият диҳем, ҳамон мафҳуме ба даст меояд, ки пешниҳод ва талабот бояд чунон ба ҳам мувофиқ ояд, то талаботи бозор қонеъ гардад ва дар сатҳи рақобатпазирӣ қарор гирад.

Мувофиқи ин, бартариҳои номбурда метавонанд, ки дар қисмҳои зерин чудо карда шаванд (расми 1) [3].



Расми 1 – Бартариҳои рақобатнокӣ корхонаи сохтмонӣ.

Дар замони муосир корхонаҳо бо як қатор хусусиятҳои рақобатпазирии худро нигоҳ дошта метавонанд, ки он бевосита аз талаботу нуфузи тамға, нарху сифати мол, технологияи истеҳсоли ва монанди инҳо вобаста аст. Мавриде ба миён меояд, ки ба даст овардани ғоидаҳои хоҳиш менамояд. Дар ин гуна ҳолатҳо бо назардошти баҳодиҳии рақобатпазирии корхона стратегияҳои бояд таҳия карда шаванд, ки барои баланд бардоштани самаранокии он мусоидат карда тавонанд [4].

Муносибатҳои рақобатнокӣ дар бозор ҳамеша зарурати мутобиқшавиро ба шароитҳои рақобатнокӣ металабад. Истилоҳи “мутобиқшавӣ” ҷанбаҳои гуногунро ифода менамояд. Мутобиқшавӣ хусусияти системае аст, ки ба тағйироти имконпазири ғайриро мувофиқ карда шудааст. Аз нуқтаи назари дигар, он раванди мувофиқшавӣ ба системаи мутобиқшавӣ аст. Инчунин, мутобиқшавӣ усули ба коркарди иттилооти воридшаванда барои ба даст овардани баъзе аз критерияҳои муносибгардонӣ асоснокшуда ба шумор меравад [1].

Се ҳолати ифодакунанда вучуд дорад. Аввалан, хусусияти мутобиқшавии системаҳои иқтисодӣ баррасӣ шуда, баъдан “мутобиқшавӣ” мисли мафҳуме кушода мешавад, ки он ба мувофиқшавӣ майл дорад. Ниҳоят, тарзи мутобиқгардонӣ ва алгоритмҳои истифодашавандаи ин раванд дарҷ мегардад. Пас, натиҷа он ҳисобида мешавад, ки моделҳои таҳиягардида ба ҳам мутобиқанд. Ин моделҳо бо қобилияти мутобиқшавии худ дар оянда бо мушоҳидаҳои нав парратар гардидан мегиранд. Пас, чунин моделҳоро мутобиқшаванда меноманд.

Бо истифода аз равиши объектии Портер М.Е. механизмҳои муосири мутобиқшавиро ҷудо кардан мумкин аст (расми 2) [2].

Боиси қайд аст, ки агар мутобиқшавӣ зухур накунад, системаи идоракунии дар корхона устувор ва комил нест. Мутобиқшавии тарзи идоракунии ҳамчун хусусияти хоси система доништа мешавад ва танҳо ҳамонеро инъикос менамояд, ки ин система ҳама гуна тағйироти муҳит ва таҳияи дастаи идоракуниро бо омилҳои камтарини ба система таъсиркунанда зуд ва ҷандирона ҳис менамояд.

Дар мавридҳои зарурӣ таҳияи стратегияҳои зару мегардад, ки рақобатпазирии корхонаҳои сохтмониро таъмин менамояд. Зеро айнаи ҳол корхонаҳои сохтмонӣ дар шароити мураккабе қарор доранд ва ғайриро карда истодаанд, ки маҳсулоти сохтмонию воридотӣ бо арзиши тағйирёбандаи худ нақшаҳои молиявии корхонаро ба самти нисбатан номуайяни мекашад. Пас, ҳадафи стратегияҳои таҳияшаванда бояд таъмини рушди устувори бартариҳои рақобатпазирии корхонаи истеҳсоли маводи сохтмонӣ бошад [8].



Расми 2 – Механизмҳои муосири мутобикшавии корхонаҳои сохтмонӣ.

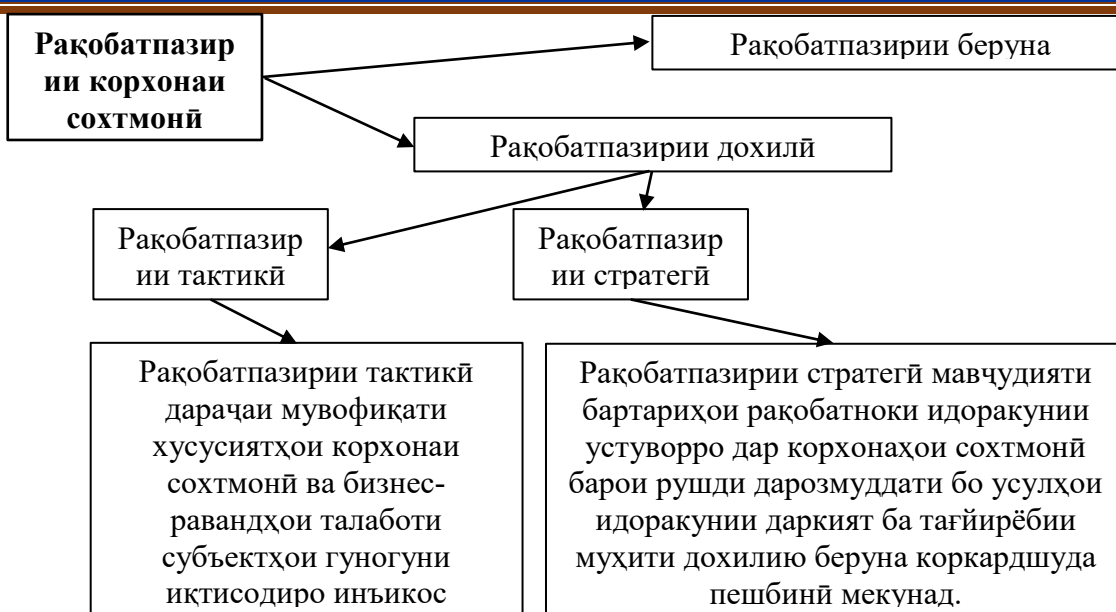
Дар ин самт муқаррар намудани идоракунии рақобатпазирии корхонаи сохтмонӣ аз ҳолати рақобатии он вобаста аст. Ин тариқи механизми рақобатнокии истифодашаванда барои рушди дарозмуддати корхона ба даст омада метавонад.

Айни замон, мувофиқи бозори ҷаҳонӣ, таҳаввулотӣ рӯзафзунӣ ҷаҳонишавӣ ва вобастагии амиқӣ сиёсии бозор рақобатнокӣ дар шароити шиддатнок қарор дорад.

Ҳар як корхона дар ин зимн бояд кӯшиш ба харҷ диҳад, ки ҳар чӣ бештару беҳтар мавқеи худро дар бозор устувор гардонад, имкониятҳои мавҷударо ба таври максималӣ истифода карда, ҳар як стратегияе, ки таҳия менамояд, дар тамоми ҷодаҳои дилхоҳ татбиқ гардонад. Дастгирии афзалиятҳои мавҷудаи рақобатнокӣ водор ба он менамояд, ки ба таври ҳатмӣ равандҳои истеҳсолӣ, технологӣ, маркетингию иқтисодӣ ва молиявӣ, ташкилию дигарҳо ҳамчун омили таъсиррасони аввалиндараҷа ҳисобида шуда, он барои таъмини рақобатпазирии корхонаи истеҳсолӣ ҳадафи асосӣ гардад ва дар ин замина татбиқи он таъмин, дар натиҷаи он моли истеҳсолшуда ба бозор барои гардиш бароварда шавад [7]. Ин аст, ки бо ҳалли мушкилоти асосии ҷойдоштаи таъмини рақобатпазирӣ шаклу усулҳои идоракунии бизнес-равандҳо муайян карда мешаванд, ки он рақобатпазирии стратегиро таъмин месозад.

Бизнес-равандҳо бо маҷмуи хосиятҳои худ рақобатпазирии корхонаи сохтмонӣ буда, он фаъолияти корхонаро дар бозори молу сармоя ва меҳнат дар ҳар гуна шароити тағйирёбандаи аз берун ва дохил таъсиррасон бо самаранокӣ хос таъмин менамояд. Моҳияти ин гуна фарқ карданро дар тасвири зерин мушоҳида кардан мумкин аст (расми 3).

Дар ҳама ҳолатҳо маҳз барои корхонаҳои сохтмонӣ рақобатпазирӣ аз сифати баланди маҳсулоту маснуот ва объектҳои сохташаванда ба даст меояд. Дар ин сурат, даромаднокӣ афзуда, тамоми хароҷот пӯшонида мешавад ва фаъолияти корхона ба таври боэътимод ба роҳ монда мешавад.



Расми 3 – Рақобатпазирии корхонаи сохтмонӣ

Хулоса

Таъмин намудани рақобатпазирии корхонаи сохтмонӣ ва консепсияи он бо назардошти он ки нишондиҳандаҳо, баҳодиҳӣ, дастгирии рақобатпазирӣ дар ҳудудҳои додашуда ҳамчун асос ба ҳисоб меравад, ба равиши арзиши идоракунии бизнес таъяс намояд. Омилҳои таъсиррасоне, ки ба қарорҳои идоракунии мушоҳида мегарданд, бузургии гардиши пулиро низ ба самтҳои гуногун тағйир медиҳанд. Аз ин ҷо, равандҳои хоҷагидорӣ таъсири ба худ хосро касб намуда, вобаста ба он дар рақобатнокии фаъолияти худро зоҳир менамоянд. Рақобатпазирӣ муҳити сифатии корхонаро инъикос менамояд ва дар натиҷаи устуворӣ дар рақобатпазирӣ даромаднокии чашмрас ба даст хоҳад омад.

Муқаррир: Бобозода Қ.О. – д.и.и., директори Институти иқтисодӣ ва демографияи АМҶНП.

Адабиёт

1. Фатхутдинов Р.А. Управление конкурентоспособностью организации: учеб. - 2-е изд., испр. и доп. – М.: Эксмо, 2012. - 542 с.
2. Азоев Г.Л. Анализ деятельности конкурентов: Учебное пособие. М.: Центр экономики маркетинга, 2002. – 320 с.
3. Юданов А.Ю. Конкуренция: теория и практика. Учебно-практическое пособие. – М.: "Гном-Пресс" - 2001, 304 с.
4. Каримова, З. М. Ключевые аспекты управления рисками в строительном бизнесе / З. М. Каримова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 1(69). – С. 60-64. – EDN PASJH.
5. Стратегияи рушди соҳаи сохтмони Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030.
6. Кодекси шаҳрсозии Ҷумҳурии Тоҷикистон.
7. Амонова, Д. С. Исследование коммерческой и производственной деятельности проектных организаций в строительной отрасли Республики Таджикистан / Д. С. Амонова, М. М. Байматова, М. А. Шаропова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 4(56). – С. 90-97. – EDN LSMOAP.
8. Раджабов, Р. К. Оценка предпринимательского климата в сфере услуг на современном этапе / Р. К. Раджабов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2016. – Т. 2, № 2(34). – С. 43-47. – EDN YPSUTN.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ-AUTHOR BACKGROUND

TJ	RU	EN
Муминова Хусниябону Фатҳиддиновна	Муминова Хусниябону Фатҳиддиновна	Muminova Husniabonu Fatkhiddinovna
Докторанти PhD	PhD докторант	Student of PhD
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академик М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: muminovakhusniya@mail.ru		

ТАЪСИРИ РАҚАМИСОЗӢ БА НИШОНДИҲАНДАҲОИ ТЕХНИКӢ-ИСТИФОДАБАРИИ ҶАЪОЛИЯТИ НАҚЛИЁТИ МУСОФИРБАРИИ ШАҲРИ ДУШАНБЕ ВА САМАРАНОКИИ ИСТИФОДАИ ОН

Ф.Ҳ. Саидзода, Н.Ш. Мирзоева

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Мақолаи мазкур таҳлили таъсири рақамикунони ҷаъолияти нақлиёти мусофирбарии шаҳри Душанбе ва самаранокӣи истифодаи онро баррасӣ мекунад. Рақамикунони системаи нақлиётӣ имконияти беҳтар намудани нишондиҳандаҳои техникӣ-истифодабарӣ, идоракунии самаранокӣи ҳадаҳои ҳаракат ва танзими сарбории нақлиётро фароҳам меорад. Нишон дода шудааст, ки ҳарф намудани технологияҳои рақамӣ ба баланд бардоштани суръат, коэффитсиенти истифодаи воситаҳои нақлиёт ва самаранокӣи хизматрасонӣ мусоидат мекунад. Ин тадқиқ барои таҳияи сиёсати беҳтар кардани зерсохтори нақлиётӣ ҳамаи аҳамияти муҳим дорад.

Калидвожаҳо: нақлиётӣ мусофирбар, рақамикунонӣ, нишондиҳандаҳои техникӣ-истифодабарӣ, самаранокӣ.

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НА ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДА ДУШАНБЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Ф.Х. Саидзода, Н.Ш. Мирзоева

Данная статья посвящена анализу влияния цифровизации деятельности пассажирского транспорта города Душанбе и эффективности его использования. Цифровизация транспортных систем предоставляет возможности для улучшения технико-эксплуатационных показателей, эффективного управления графиком движения и регулирования нагрузки на транспорт. Показывает, что внедрение цифровых технологий способствует повышению скорости, коэффициента использования транспортных средств и эффективности обслуживания. Это исследование имеет практическое значение для разработки политики руководства и улучшения инфраструктуры общественного транспорта.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, цифровизация, технико-эксплуатационные показатели, эффективность.

THE IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON THE TECHNICAL AND OPERATIONAL PERFORMANCE OF PASSENGER TRANSPORT IN DUSHANBE AND THE EFFECTIVENESS OF ITS USE

F.H. Saidzoda, N.S. Mirzoeva

This article is devoted to the analysis of the impact of digitalization of passenger transport in the city of Dushanbe and the effectiveness of its use. Digitalization of transport systems provides opportunities to improve technical and operational performance effectively manage traffic schedules and regulate the load on transport. It shows that the introduction of digital technologies contributes to an increase in speed, vehicle utilization and service efficiency. This research has practical implications for policy development, management and improvement of public transport infrastructure.

Keywords: passenger transport, digitalization, technical and operational indicators, efficiency.

Муқаддима

Рушди муосири нақлиётӣ мусофирбарии шаҳрӣ ба истифодаи технологияҳои рақамӣ, ки самаранокӣи низоми нақлиётро таъмин мекунад, ғайриимкон аст. Барои шаҳри Душанбе, ҳамчун пойтахти Ҷумҳурии Тоҷикистон, ин самт аҳамияти хос пайдо мекунад, зеро афзоиши устувори аҳоли, рушди ҷараёни мусофирбарӣ ва зарурати беҳтар намудани зерсохторро тақозо мекунад [7].

Истифодаи ҷунин технологияҳо ба беҳтар шудани нишондиҳандаҳои техникӣ-истифодабарии нақлиёт мусоидат намуда, суръат, коэффитсиенти пуршавӣ, мунтазамии ҳаракат ва сифати хизматрасониро баланд мебардорад.

Татбиқи технологияҳои рақамӣ ба мувофиқсозии шабакаҳои нақлиётӣ, кам кардани садаҳо, ҳамчунин риояи ҳадаҳои ҳаракатро мусоидат мекунад. Ин тадбирҳо барои шаҳри Душанбе аҳамияти махсус дошта, таъмини рушди устувори ҳаракати шаҳрвандонро тақозо мекунад.

Тадқиқоти мазкур ба таҳлили таъсири рақамикунонӣ ба нишондиҳандаҳои техникаи истифодабарии ҷаъолияти нақлиётӣ мусофирбарии шаҳри Душанбе равона шуда, мақсад, таҳияи тавсияҳои амалӣ мебошад, ки сифати хизматрасонии нақлиётро дар муҳити шаҳр беҳтар мекунад.

Дар солҳои охир дар адабиёти илмӣ диққати зиёд ба рақамикунони системаҳои нақлиётӣ ва таъсири онҳо ба хусусиятҳои истифодаи нақлиёт дода мешавад. Тадқиқот [1] нишон медиҳад, ки

ҷорӣ намудани мониторинги GPS (Global Positioning System) ва телеметрия (ҷамъоварӣ ва интиқоли маълумот) имкон медиҳад, то суръати истифодаи нақлиёти ҷамъиятӣ баланд шуда, вақти бекорӣ кам карда шавад. Таҳлили кори [2] нишон медиҳад, ки автоматикунонии банақшагирии хатсайрҳо ва ҷадвалҳо ба беҳтар шудани мунтазамии ҳаракат ва кам шудани шикоятҳои мусофирон мусоидат мекунад.

Дар қорҳои [3-4] қайд мешавад, ки истифодаи системаҳои чиптаи электронӣ ва платформаҳои рақамӣ қараёни мусофирбариро беҳтар ва коэффитсиенти истифодаи паркро баландтар мекунад. Таҳлили таҷрибаи хориҷӣ [5-6] нишон медиҳад, ки истифодаи маълумоти калон ва омӯзиши он ба пешгӯии сарбории шабака таъсири мусбат дорад.

Мавод ва услҳои тадқиқот

Бо вучуди пайгирии таҷрибаҳои байналмилалӣ, масъалаҳои мутобиксозии чунин технологияҳо ба шароити шаҳрҳои рӯ ба тараққӣ, ба монанди Душанбе, ҳанӯз пурра омӯхта нашудаанд. Ин ба хусусиятҳои зерсохтори шаҳр, захираҳои маҳдуди молиявӣ вобаста аст. Ин омил зарурати таҳияи равишҳои маҳаллигардонидашударо, ки имкониятҳои воқеии низоми нақлиётро ба назар мегиранд, ба миён меорад.

Ҷадвали 1 – Таъсири технологияҳои рақамӣ ба нишондиҳандаҳои техникӣ-истифодабарии нақлиёти мусофирбари шаҳри Душанбе

№	Рамз	Воҳид	Нишондиҳанда	Шарҳ	Таъсирот
1	T_c	Соат	Вақти иҷрокунии супориш	Риояи вақти қорӣ ва қоҳиш додани сатҳи садамаҳо	Сатҳи бехатариро баланд мебардорад, хастагӣ ва хатогиҳоро қоҳиш медиҳад
2	V_u	Км/с	Суръати истифодабарӣ	Самаранокӣ ва сифати фаъолиятро инъикос мекунад	Намуди хизматрасониҳор муқаррар мекунад, сатҳи сифати хизматрасонӣ баҳо дода мешавад
3	$\beta_{мус}$	–	Коэффитсиенти истифодаи ғашт	Ҳиссаи самаранокии масофаи тайшударо инъикос мекунад	Дарачаи истифодабарии оқилонаи масофаи тайшударо муайян ва ғашти холиро дар хатсайрҳо кам мекунад
4	$q_{мус}$	Мус.	Ғунҷоиш	Самаранокии истифодабарии ғунҷоиши таркиби ҳаракаткунандаро нишон медиҳад	Хароҷоти нақлиётро қоҳиш дода, сатҳи сифати хизматрасониро аз лиҳози бароҳатии сафар баланд мекунад
5	γ_c, γ_d	–	Коэффитсиенти истифодаи ғунҷоиш	Ҳиссаи самаранокии истифодабарии ғунҷоиши нақлиётро инъикос мекунад	Самаранокии истифодабарии паркро меафзояд
6	A_p	Адад	Шумораи рӯхатӣ	Шумораи нақлиёти дар рӯхатбударо нишон медиҳад	Захираҳо оқилона истифодашуда, хароҷот кам мешавад
7	α_b	–	Коэффитсиенти барориш	Коэффитсиенти барориши нақлиётро дар хатсайрҳо нишон медиҳад	Самаранокиро меафзояд, хароҷотро қоҳиш дода, сатҳи хизматрасониро беҳтар мекунад
8	P_m	Рӯз	Рӯзҳои тақвимӣ	Рӯзҳои истифодашавии нақлиётро инъикос мекунад	Рӯзҳои воқеии корро афзуда, сатҳи бекористии воситаҳои нақлиётро қоҳиш медиҳад
9	l_m	Км	Масофаи миёна	Масофаи миёнаи сафари мусофиронро ишора мекунад	Масофаро кам ва дастрасиро ба воситаи нақлиёт баланд мекунад
10	Q_m, P_m	Мус., Мус.км	Ҳаҷм интиқол ва мусофиргардиш	Ҳаҷми интиқоли мусофирон ва гардиши онҳоро нишон медиҳад	Рушди устувори соҳаро аз лиҳози баландшавии ҳаҷм ва гардиш таъмин менамояд
11	A_m	Адад	Теъдоди матлуби	Шумораи зарурии	Талаботи аҳолиро пурра ва

№	Рамз	Воҳид	Нишондиҳанда нақлиёт	Шарҳ воситаҳои нақлиётро муайян мекунад	Таъсирот самаранок қонё мегардонад
12	$I_{\text{хар}}$	Дақиқа	Фосилаи ҳаракат	Фосилаи ҳаракати байни нақлиётхоро нишон медиҳад	Вақти интизори коҳиш, қаноатмандиро баланд ва ҷадвали ҳаракат дар асоси он таҳия мешавад

Бо дарназардошти ин таҳлили таъсири технологияҳои рақамӣ ба нишондиҳандаҳои техникию истифодабарии нақлиёти мусофирбар дар шаҳри Душанбе аҳамияти хоса дорад. Аз ҷумла, сухан дар бораи тағйирот дар нишондиҳандаҳо ба мисли суръати истифодабарии нақлиёт, коэффитсиенти истифодаи таркиби ҳаракаткунанда, мунтазамии ҳаракат, дараҷаи сарбории шабака ва сифати хизматрасонии мусофирон меравад. Муайян кардани робита байни татбиқи технологияҳои рақамӣ ва беҳтар шудани ин нишондиҳандаҳо имкон медиҳад, ки самтҳои рушди минбаъдаи низоми нақлиёти пойтахт асоснок гарданд.

Натиҷаҳои тадқиқот

Дар доираи ин тадқиқот самтҳои муҳим мавриди омӯзиш қарор мегиранд:

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба риояи вақти супоришиҷроқунӣ ва сатҳи садамаҳои нақлиётӣ (T_c , соат).

Ҷорӣ намудани технологияҳои рақамӣ ба назорати дақиқ ва пайгирии вақти кории ронандагону дигар кормандон мусоидат мекунад. Системаҳои муосири мониторинг ва автоматизатсия имкон медиҳанд, ҷадвалҳои кориро мувофиқ намуда, риояи меъёрҳо ва вақти истироҳатро таъмин намоянд. Ин, дар навбати худ, хатари хастагии кормандонро коҳиш дода, яке аз омилҳои асосии таъсиррасон ба басомади садамаҳои нақлиёт мебошад. Истифодаи чунин технологияҳо дар шаҳри Душанбе имкон медиҳад, ки беҳатарӣ баланд, садамаҳо кам ва қонуншиканиҳо саривақт ошкор шаванд.

Яке аз воситаҳои самаранок ин мониторинги системаҳои электронии пайгирии вақт мебошанд. Дар ин миён тахографҳо, системаҳои банақшагирии басти корӣ, системаҳои ҳамгирой бо технологияҳои мониторинги ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система)/GPS (Global Positioning System) аҳамияти махсус доранд.

Ин амал ба идоракунон имкон медиҳад, ки вақти воқеии фаъолият ва танаффусҳо, ҳамчунин риояи қоидаҳои ҳифзи меҳнато дақиқ пайгирӣ кунанд. Илова бар ин, чунин системаҳо ба таҳлил ва самаранокӣ кор кӯмак расонида, ба паст кардани сатҳи хатар ва баланд бардоштани сифати хизматрасонии нақлиёт мусоидат мекунад.

Тахографҳо давомнокии идоракунии воситаҳои нақлиёт ва давраҳои истироҳати ронандагонро дақиқ сабт мекунад. Ин воситаҳо на танҳо ба риояи қоидаҳои беҳатарӣ ва ҳифзи меҳнат ёрӣ мерасонанд, балки таҳлили фаъолияти ронандагонро осон мегардонанд.

Ҳамчунин, ин системаҳо барои назорати роҳхатҳо, нигоҳдорӣ ва таъмири воситаи нақлиёт васеъ истифодашуда, самаранокӣ кори корхона ва устувории онро таъмин мекунад.

Истифодаи чунин воситаҳо ба баланд бардоштани интизоми меҳнат, кам кардани қонуншиканиҳои маъмурий ва ба коҳиши эҳтимолияти хастагии кормандон мусоидат мекунад.

Хулоса, назорати ҳамаҷонибаи рақамӣ сатҳи беҳатарии нақлиётро баланд мебардорад, зеро хастагӣ, изофаториҳо ва хатогҳои кормандони техникӣ сабабҳои асосии садамаҳои нақлиётӣ мебошанд. Бо истифодаи чунин системаҳо на танҳо кори кормандон ба танзим дароварда мешавад, балки хавфи рӯй додани ҳодисаҳои нохуш дар роҳҳо ба таври назаррас коҳиш хоҳад ёфт.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба баланд бардоштани сатҳи суръати истифодабарии нақлиёти мусофирбарии шаҳрӣ (V_n , км/с)

Суръати истифодабарӣ яке аз нишондиҳандаҳои асосии техникӣ-истифодабарии нақлиёти мусофирбар дар шароити муҳити шаҳр ба ҳисоб рафта, сатҳи сифат ва самаранокӣ фаъолияти онро инъикос менамояд. Ҷорӣ намудани технологияҳои рақамӣ, аз ҷумла системаҳои интеллектуалии идоракунии ҳаракат, навигатсияи GPS, танзими автоматикунонидашудаи чароғакҳои роҳнамо ва системаҳои рақамии идоракунии диспетчерӣ, ба коҳиш ёфтани вақти бекорӣ, паст шудани таъхирҳо дар хатсайр ва тақсмоти ҷараёни нақлиёт дар шабака мусоидат мекунад.

Дар шаҳри Душанбе татбиқи чунин қарорҳо имкон фароҳам меорад, ки хатсайрҳо ва ҷадвалҳои ҳаракат дар вақти воқеӣ ба таври фаврӣ мутобиқ гарданд, ки ин боиси афзоиши суръати миёнаи истифодабарии нақлиёти мусофирбар гардида, дар натиҷа, қобилияти гузарониши хатсайрҳо ҳамчун унсури асосии шабакаи нақлиётӣ баландшуда, сатҳи дастрасии хизматрасонии нақлиётӣ ба сокинон беҳтар мегардад.

Рақамикуноии соҳа имкон медиҳад, ки суръат ва самаранокии фаъолияти нақлиёт тавассути омилҳои зерин баланд бардошта шаванд:

1. Диспетчерикунони раванди ҳаракат дар вақти воқеӣ. Истифодаи системаҳои рақамӣ имконият медиҳад, ки идоракунии ҳаракат дар рӯйи онлайн амалӣ гардад. Ин ба пешгирии бандшавии роҳҳо, тақсимои оқилонаи воситаҳои нақлиёт дар хатсайрҳо, нигоҳдории фосилаи устувори ҳаракат ва коҳиш додани вақти интизории мусофирон дар истгоҳҳо мусоидат намуда, дар маҷмӯъ суръати интиқолро баланд мекунад.

2. Ҷорӣ намудани низоми пардохти электронӣ ва озод намудани ронандагон аз ҷамъоварии маблағи роҳиро. Ин технология раванди саворшавӣ ва фаромадани мусофиронро зудтар карда, вақти истифодаи воситаҳои нақлиётро дар истгоҳҳо коҳиш медиҳад, ки дар натиҷа, суръати миёнаи шабоанрузӣ ва суръати робитаӣ афзоиш меёбад.

3. Ҷамъоварӣ ва таҳлили маълумот барои тадқиқ. Таҳлили маълумот оид ба ҷараёни ҳаракати нақлиёт, интиқоли мусофирон ва сатҳи сарбории хатсайрҳо имкон медиҳад, ки нақшаҳои ҳаракат такмил додашуда, таваққуфҳои ғайримуқаррарӣ бартараф гарданд ва фосилаи вақти ҳаракат мувофиқ гардонида шаванд.

Таъсири технологияи рақамӣ ба тағйирёбии коэффитсиенти истифодаи гашти нақлиёти мусофирбари ҷамъиятӣ ($\beta_{\text{мус.}}$)

Коэффитсиенти истифодаи масофа $\beta_{\text{мус.}}$ яке аз нишондиҳандаҳои муайянкунандаи самаранокии истифодаи таркиби ҳаракаткунанда ба ҳисоб рафта, ҳиссаи масофаи тайкардашудаи муфидро дар масофаи умумии тайнамудаи воситаи нақлиёт инъикос менамояд. Баланд будани ин нишондиҳанда дараҷаи истифодаи оқилонаи нақлиётро муайян мекунад.

Татбиқи технологияи рақамӣ, аз ҷумла системаҳои муосири диспетчерӣ, мониторинги GPS, банақшагирии интеллектуалии хатсайрҳо ва ҷадвалҳои тағйирёбандаи ҳаракат, ба коҳиш ёфтани вақти ист ва афзоиши маҳсулнокии нақлиёт мусоидат менамояд. Ин технология имкон медиҳад, ки идоракунии ҳаракат дар асоси маълумоти воқеӣ ва таҳлили фаврӣ ба роҳ монда шавад.

Дар шароити шаҳри Душанбе истифодаи чунин технология имкон медиҳад, ки хатсайрҳо бо дарназардошти ҷараёни мусофирбарӣ, вақт ва вазъи зерсохтор мувофиқ кардашуда, шумораи гашти бемаҳсул коҳиш ёбад.

Баланд гардидани коэффитсиенти истифодаи гашт омили муҳими коҳиш додани хароҷот ва баланд шудани самаранокии иқтисодӣ буда, дар доираи концепсияи рушди устувори шаҳр аҳамияти стратегӣ дорад.

Технологияҳои рақамӣ имкон медиҳанд, ки коэффитсиенти истифодаи гашт тавассути механизмҳои зерин баланд шавад:

1. Мутобиқсозии шабакаи хатсайрҳо. Таҳлили маълумот дар бораи ҷараёни мусофирбарӣ бо истифода аз системаҳои ГЛОНАСС/GPS ва воситаҳои назорати видеоӣ имкон медиҳад, ки хатсайрҳо нисбат ба яқдигар мутобиқшуда, ба коҳиш ёфтани ҳиссаи гашти каммаҳсул ва баланд шудани гашти пурмаҳсул мусоидат намояд.

2. Банақшагирии барориши нақлиёт. Системаҳои муосири автоматикунонидашудаи идоракунии нақлиёт тақсимои дақиқи воситаҳои нақлиётро бо дарназардошти вақти шабонарӯзӣ, рӯзҳои ҳафта ва самтҳои ҳаракат таъмин мекунад. Дар натиҷа, ҳолатҳои барориши зиёдатии нақлиёт ва гашти каммаҳсул коҳиш меёбанд.

3. Беҳтар намудани хизматрасонии техникӣ ва баланд бардоштани сатҳи эътимоднокии нақлиёт. Татбиқи системаҳои рақамӣ таҳлил ва мониторинги ҳолати техникӣ нақлиёт боиси паст шудани сатҳи вайроншавиҳо мегардад, ки ин мустақиман ба коҳиши гашти бемаҳсул ва баланд бардоштани самаранокии истифодаи нақлиёт мусоидат мекунад.

4. Истифодаи маълумот барои таҳлили сарбории хатсайрҳо. Таҳлили комплекси сатҳи сарборӣ, суръати ҳаракат ва ҷараёни мусофирбарӣ имкон медиҳад, ки ҷадвали ҳаракат дақиқтар тарҳрезӣ гардида, шумораи гашти камсамар коҳиш ёбад ва ҳиссаи масофаи тайкардашудаи фойданок афзоиш ёбад.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба ғунҷоиши нақлиёти мусофирбарии шаҳрӣ ($q_{\text{мус}}$, мусофир)

Истифодаи оқилонаи ғунҷоиши таркиби ҳаракаткунанда яке аз нишондиҳандаҳои муҳими баланд бардоштани самаранокии кори нақлиёти мусофиркашонии шаҳр ба ҳисоб меравад. Татбиқи технологияҳои рақамӣ, аз ҷумла системаҳои автоматикунонидашудаи ҳисобкунии мусофирон, системаҳои идоракунии интеллектуалии масирҳо, диспетчеризатсияи рақамӣ ва барномаҳои мобилии мониторинг, имкон медиҳад, ки захираҳо дар асоси талаботи воқеӣ тақсим карда шаванд.

Дар шароити шаҳри Душанбе истифодаи чунин қарор ба пуршавии таркиби ҳаракаткунанда, коҳиши шумораи гашти ҳолӣ ва баланд бардоштани маҳсулноқӣ, махсусан дар соатҳои авҷ, мусоидат менамояд.

Технологияҳои рақамӣ имкон медиҳанд, ки истифодаи оқилонаи ғунҷоиши таркиби ҳаракаткунанда тавассути механизмҳои зерин баланд бардошта шавад:

1. *Арзёбӣ ва пешгӯии пуршавии нақлиёт дар вақти воқеӣ.* Системаҳои автомати ҳисобкунии мусофирон, ки дар дарҳои воситаҳои нақлиёт насб мешаванд, имкон медиҳанд, ки шумораи воқеии мусофирон дар қисматҳои гуногуни хатсайр, бо назардошти вақт ва рӯзҳои ҳафта пайгирӣ карда шавад. Ин раванд имкон медиҳад, ки ғунҷоиши нақлиёт бо талаботи воқеӣ мутобиқ карда шавад.

2. *Интиҳоби намуди таркиби ҳаракаткунанда.* Бо маълумот оиди пуршавии нақлиёт, намуди онҳо бо дарназардошти ғунҷоӣ ва талаботи мусофирон интиҳоб гарданд. Масалан, дар хатсайрҳои дорои ҷараёни баланди мусофирон автобусҳои калон истифода мешаванд.

3. *Танзими тағйирёбии фосилаи ҳаракат.* Системаи интеллектуалии диспетчерӣ ва пешгӯии ҷараёни мусофирбарӣ имкон медиҳад, ки фосилаи ҳаракати нақлиёт вобаста ба селани мусофирон тағйир ёбад. Ин усул истифодаи иқтидорҳои мутавозин мегардонад.

4. *Беҳтар шудани шароити мусофирбарӣ ва коҳиш додани сатҳи бехатарии интиқол.* Танзим шудани сарбории воситаҳои нақлиёт, махсусан дар соатҳои авҷ, тавассути банақшагирии дақиқи ҷараёни интиқол ба даст омада, ба беҳтар шудани шароити интиқол, коҳиши хатар ва баланд бардоштани қаноатмандӣ мусоидат мекунад.

5. *Банақшагирии рушди шабакаи нақлиётӣ.* Маълумот оиди шиддатнокӣ имкон медиҳад, ки хатсайрҳо аз нав тарҳрезӣ, хатҳои такрорӣ кам талаботи воқеӣ нисбати ғунҷоӣ муайян шавад. Ин раванд истифодаи самараноки таркиби ҳаракаткунанда ва кам кардани гашти каммаҳсулро таъмин мекунад.

Ҳамин тавр, татбиқи технологияҳои рақамӣ шароит фароҳам меоранд, то аз ҷиҳати илмӣ интиҳоби ғунҷоиши таркиби ҳаракаткунанда асоснокшуда, ба истифодаи оқилонаи нақлиёт, коҳиши хароҷот ва баланд бардоштани сатҳи сифат дар шароити шаҳр мусоидат менамояд.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба тағйирёбии коэффитсиенти истифодаи ғунҷоиши нақлиёти мусофирбарии шаҳрӣ (γ_c, γ_d)

Коэффитсиенти истифодаи ғунҷоӣ нишондиҳандаест, ки дараҷаи саворшавии воқеии мусофиронро нисбат ба ғунҷоиши номиналӣ тавсиф менамояд. Ин нишондиҳанда самаранокии истифодабарии фазои дастрасро дар ҷараёни ҳаракат инъикос мекунад.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба коэффитсиенти истифодаи ғунҷоӣ чунин зоҳир мегардад:

1. *Баҳисобгирии автоматикунонидашудаи селани мусофирон.* Истифодаи системаҳои автомати ҳисобкунии селани мусофирон ва системаҳои пардохти электронӣ имкон медиҳад, ки маълумоти дақиқ дар бораи сатҳи пуршавии воситаҳои нақлиёт дар вақти воқеӣ ҷамъоварӣ карда шавад. Ин ҳолат сифати таҳлили истифодабарии ғунҷоӣ ва қабули қарорҳои идоракуниро ба таври назаррас баланд мебардорад.

2. *Мутобиқсозии хатсайрҳо ва ҷадвалҳои ҳаракат.* Таҳлили маълумот оид ба ҷараёни интиқоли мусофирон бо истифода аз технологияҳои зеҳни сунъӣ ва системаҳои иттилоотии рақамӣ имкон медиҳад, ки ҷадвал ва фосилаҳои ҳаракати нақлиёт мутобиқ гардад. Ин раванд ба

мутобиқсозии пуршавии таркиби ҳаракаткунанда, пешгуии издиҳом ва коҳиш додани ҳолатҳои пуршавии нокифояро мусоидат менамояд.

3. *Интиҳоби навъи воситаи нақлиёт вобаста ба қараёни интиқоли мусофирон.* Пешгӯӣ бо истифода аз технологияҳои рақамӣ имкон медиҳанд, ки навъи мувофиқи таркиби ҳаракаткунанда аз рӯи ғунҷоиш интиҳоб карда шавад, то ки коэффитсиенти истифода баланд шавад.

4. *Таъмини бароҳатӣ ва бехатарии сафар.* Идоракунии оқилонаи пуршавии нақлиёт ба коҳиши сарбории шабака мусоидат намуда, сатҳи бароҳатӣ ва бехатарии мусофиронро таъмин менамояд.

Дар умум афзоиши коэффитсиенти истифодаи ғунҷоиш нишондиҳандаи муҳими самаранокии фаъолияти нақлиёти мусофирбари шахрӣ ба ҳисоб меравад. Дар ин раванд, технологияҳои рақамӣ нақши калидӣ дошта, имконияти ҷамъоварӣ, коркард ва таҳлили маълумоти дақиқро фароҳам меоранд, ки онҳо ҳамчун заминаи илмӣ барои самаранокии раванди интиқолдиҳӣ ҷиҳати мутобиқгардонии хатҳои сафар, тақмили ҷадвалҳои ҳаракат ва истифодаи оқилонаи парк хизмат менамоянд.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба шумораи рӯйхатии нақлиёти мусофирбари шахрӣ (A_p , адад)

Системаҳои рақамӣ оид ба қараёни мусофирон ва истифодаи нақлиёт имконият медиҳанд, ки талаботи воқеӣ ба шумораи нақлиёт арзёбӣ карда шавад. Дар ин асос вобаста ба сатҳи сарбории хатсайрҳо, тағйирёбии қараёни мусофирон ва ҳолати техникий нақлиёт имкон пайдо мешавад, ки ҳаҷми парки нақлиётро мутобиқ намоянд. Ин имкон медиҳад, ки аз харидаи зиёдаи нақлиёт ва хароҷоти нигоҳдории онҳо пешгирӣ шавад, инчунин ҳангоми афзоиши қараёни мусофирон дар соатҳои авҷи воҳидҳои калонҳаҷм саривақт сафарбар гарданд.

Татбиқи системаҳои рақамии ташхис ва нигоҳдорӣ имкон медиҳад, ки вақти ҳаракати беаҳсули воситаҳои нақлиёт бинобар сабабҳои ночуриҳои техникий коҳиш дода шавад. Системаҳои мониторинги ҳолати техникий имкони таъмирҳои саривақтии нақлиётро фароҳам меоранд, ки ба афзоиши миёнаи коэффитсиенти барориш мусоидат менамояд.

Системаҳои рақамӣ имкон медиҳанд, ки теъдоди нақлиёт фавран бақайд гирифташуда, таъсири омилҳои инсониро ҳангоми аз эътибор соқит кардан коҳиш дода, шумораи воқеии таркиби ҳаракаткунанда дуруст инъикос ёбад.

Бо ёрии технологияҳои рақамӣ, корхонаҳои нақлиёт метавонанд воситаҳои нақлиётро зуд байни хатсайрҳо тақсим кунанд ва истифодаи онҳоро ба таври назаррас беҳтар созанд.

Ҳулас, татбиқи технологияҳои рақамӣ истифодаи таркиби ҳаракаткунандаро беҳтар намуда, захираҳоро сарфа, дастрасии нақлиётро баланд, дақиқии баҳисобгириро беҳтар ва дар натиҷа хароҷоти нигоҳдории паркро коҳиш дода, сифати хизматрасонию беҳтар мегардонад.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба тағйирёбии коэффиенти барориши нақлиёти мусофирбар дар хатсайрҳои шахрӣ (α_6)

Системаҳои автоматикунонидашудаи пайгирии вақт ва масофа, имкон медиҳанд, ки фаъолияти ҳар як нақлиёт дар вақти воқеӣ назорат, бекористии онҳо фавран муайян ва инчунин риояи речаи кор таъмин шавад.

Дар натиҷа, вақти воқеии кории нақлиёт зиёд шуда, коэффитсиенти барориш бевосита баланд мегардад. Бо истифода аз платформаҳои рақамӣ, қараёни мусофирон ва вазъи роҳ, банақшагирии хатсайрҳо, фосилаи ҳаракат ва баровардани нақлиёт самараноктар гардида, суръати ҳаракат ва вақти бекории нақлиёт коҳиш ва коэффитсиенти истифодаи он зиёд мегардад.

Дар умум, коэффитсиенти барориши нақлиёт баландшуда, хароҷоти истифода ва нигоҳдорӣ кам ва сифати хизматрасонӣ беҳтар мегардад.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба истифодаи нақлиёти мусофирбарии шахрӣ дар рӯзҳои тақвимӣ (P_T , рӯз)

Системаҳои рақамии мониторинги ҳолати техникий нақлиёт имкон медиҳанд, ки камбудиҳои эҳтимоли саривақт ошкор шавад, ки ин шумораи таъмирҳои ғайринақшавиро кам карда, рӯзҳои тақвимии истифодаи нақлиётро зиёд мекунад.

Системаҳои автоматикунонидашудаи идоракунии имкон медиҳанд, ки таъмир ва нигоҳдорӣ ба рӯзҳои корӣ дуруст тақсим шаванд. Ба ҷои таъмири дарозмуддати ғайриҷашмдошт, корҳои нақшавӣ дар давраҳои муайян воқеъан рӯзҳои кории нақлиётро зиёд мекунад.

Технологияҳои рақамӣ қобилияти зуд ошкор ва бартараф кардани мушкилотро тавассути кам кардани вақти бекорӣ дар рӯзҳои тақвими фароҳам меоранд.

Татбиқи технологияҳои рақамии идоракунии ба афзоиши шумораи воқеи рӯзҳои тақвими истифодаи воситаҳои нақлиёт тавассути коҳиш додани бекористӣ ва таъмини фаъолияти самараноки нақлиёти мусофирбарии шаҳр мусоидат мекунад.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба тағйирёбии масофаи миёнаи сафар дар муҳити шаҳр (I_m , км)

Афзоиши масофаи миёнаи ҳаракат дар шароити шаҳр ба афзоиши хароҷоти нақлиёт мусоидат намуда, ҳангоми нархгузорӣ бояд ба назар гирифта шавад.

Афзоиши масофаи миёнаи сафар метавонад боиси зиёд шудани хароҷоти нақлиёт ва мураккаб гардидани идоракунии система гардад, ки ин дар навбати худ татбиқи тадбирҳои иловагиро барои баланд бардоштани самаранокии фаъолияти нақлиёти мусофирбарии шаҳр талаб менамояд.

Татбиқи технологияҳои рақамӣ ба тақмили сохтори шабакаи нақлиёт мусоидат намуда, имкони интихоби масирҳои самаранок ва кӯтоҳтарро фароҳам меорад, ки ин метавонад ба кам гардидани масофаи миёнаи сафарҳои мусофирон оварда расонад.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба тағйирёбии ҳаҷм ва гардиши мусофирон дар шаҳри Душанбе (Q_m , мусофир ва P_m , мусофир.км)

Дар солҳои охир дар системаи нақлиёти мусофирбарии шаҳри Душанбе технологияҳои рақамӣ ба таври васеъ татбиқ мешаванд, ки ба нишондиҳандаҳои ҳаҷм ва гардиш таъсири ҳамаҷониба мерасонанд.

Аввал ин, ки автоматикунонии равандҳои идоракунии нақлиёт ва татбиқи он барои банақшагирии хатсайрҳо ва ҷадвалҳо ба баланд бардоштани самаранокӣ ва сифати хизматрасонӣ мусоидат мекунад. Истифодаи чунин системаҳо сатҳи бароҳатӣ ва дастрасии нақлиётро беҳтар намуда, талабот ба хизматрасониҳои нақлиёти мусофирбарии шаҳрро афзоиш медиҳад.

Дуввум ин, ки ҳамгироии намудҳои гуногуни нақлиёт самараноки сафарро таъмин карда, имкониятҳои мусофиронро барои интихоби хатсайрҳо васеъ мегардонад. Ин раванд ба афзоиши гардиши мусофирон тавассути истифодаи оқилонаи шабакаи мавҷудаи нақлиёт мусоидат менамояд.

Саввум ин, ки истифодаи маҷмӯи васеи маълумот имкон медиҳад, ки ҷараёни мусофирбарӣ пешгӯӣ шуда, фаъолияти нақлиёт ба талаботи воқеи аҳоли мутобиқ гардад.

Илова бар ин, рақамикунӣ ба рушди намудҳои экологии нақлиёт мусоидат намуда, ҷолибияти нақлиёти ҷамъиятиро барои мусофирон баланд мебардорад ва ба афзоиши гардиши онҳо оварда мерасонад.

Ҳамин тавр, ҷорӣ намудани технологияҳои рақамӣ дар системаи нақлиёти шаҳри Душанбе ба афзоиши ҳаҷми интиқоли мусофирон ва гардиши онҳо мусоидат намуда, тавассути баланд бардоштани сифати хизматрасонӣ ба даст оварда мешавад.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба мониторинги селай мусофирон ва муайянсозии теъдоди матлуби нақлиёти мусофирбар дар шаҳр (A_m , адад)

Технологияҳои муосир ба таҳлили ҷараёни мусофирбарӣ ва банақшагирии шумораи матлуби нақлиёт таъсири назаррас мерасонанд.

Якум ин, ки ҷорӣ намудани системаҳои ҷамъоварӣ ва коркарди автоматии маълумот имкон медиҳад, то иттилооти дақиқ дар бораи селай мусофирон дар вақти воқеӣ ба даст оварда шавад.

Дуюм ин, ки истифодаи маҷмӯи васеи маълумот имкон медиҳад, то ҷараёни воқеи мусофирон таҳлил кардашуда, тағйироти он бо назардошти омилҳои гуногун аз ҷумла: мавсим, шароити обу ҳаво, ҷорабиниҳои шаҳрӣ ва ғайра пешгӯӣ гардад.

Сеюм ин, ки бо истифода аз технологияҳои рақамӣ муайян кардани миқдори зарурии нақлиёт имконпазир гардида, тақсими нақлиётро дар хатсайрҳо ба таври самаранок мутобиқ созад.

Дар умум, ҷорӣ намудани технологияҳои рақамӣ ба беҳтар кардани идоракунии система, кам кардани хароҷот ва баланд бардоштани сифати хизматрасонӣ тавассути мутобиқсозии талаботи воқеӣ мусоидат менамояд.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба муайянкунии фосолаи ҳаракати нақлиёт дар хатсайр ва тартибдиҳии ҷадвали ҳаракат ($J_{\text{хар. дақиқа}}$)

Технологияҳои рақамӣ нақши калидӣ дар тақмили равандҳои банақшагирӣ ва ташкили ҳаракати нақлиёти мусофирбарии шаҳр мебозад, ки ба баланд бардоштани самаранокӣ ва сифати хизматрасонӣ ба мусофирон мусоидат мекунад:

- истифодаи системаҳои автоматикунонидашудаи ҷамъоварӣ ва коркарди маълумот оиди селай мусофирон, таъхир аз вазъии роҳ имкон медиҳад, ки иттилооти муфассал дар вақти воқеӣ ба даст овардашуда, ин маълумот асоси сохтани ҷадвалҳои оқилонаи ҳаракатро фароҳам меорад;

- ҷорӣ намудани барнома ва алгоритмҳое, ки ба усулҳои омӯзиши модели шиддатнокии нақлиёт асос ёфта, ба ташаккули графикҳои тағйирёбанда имкон медиҳад. Ин графикҳо метавонанд дар вақти воқеӣ таҳрир ва ислоҳ карда шуда, дақиқии банақшагириро зиёд ва вақти интизории мусофиронро коҳиш диҳанд;

- технологияҳои рақамӣ фосолаҳои ҳаракатро таъмин намуда, ҳам бекоршавии аз ҳад зиёд ва ҳам сарбории аз ҳад зиёдро дар истгоҳҳо танзим мекунад. Танзими басомади ҳаракат вобаста ба талаботи мусофирон, вақт ва вазъии роҳ ба самаранок истифода шудани захираҳо ва беҳтар кардани хизматрасонии мусофирон мусоидат менамояд.

Дар натиҷа, истифодаи технологияҳои рақамӣ ҳангоми банақшагирӣ ва сохтани ҷадвали ҳаракат ба коҳиш додани хароҷот, баланд бардоштани сатҳи қаноатмандии мусофирон ва беҳтар кардани сифати хизматрасонии нақлиёт мусоидат мекунад.

Таъсири технологияҳои рақамӣ ба ташаккули хатҳои алоҳидаи ҳаракати автобусҳо ва назорати риояи қоидаҳои ҳаракат дар роҳҳои шаҳри Душанбе

Технологияҳои муосир фаъолияти пурсамари нақлиёти мусофирбарро таъмин намуда, ҷорӣ намудани хатҳои алоҳидаи ҳаракати автобусҳо ва системаҳои автоматики назорати вайронкунии қоидаҳои ҳаракат онро хеле беҳтар менамоянд.

Истифодаи технологияҳои рақамӣ дар низоми нақлиёти мусофирбар имкониятҳои зиёдеро фароҳам меорад:

1. Системаҳои рақамӣ имкон медиҳанд, ки бо назардошти маълумоти воқеӣ оид ба селай мусофирон, вазъии роҳ ва ҷадвалҳои ҳаракат, хатҳои махсуси ҳаракати нақлиёти ҷамъиятӣ тарҳрезӣ карда шаванд. Ин тадбир суръати ҳаракати автобусҳоро баланд карда, вақти сафарро кам ва ҷолибияти нақлиёти ҷамъиятиро зиёд менамояд.

2. Насби камераҳои рақамии назорати видеоӣ дар хатҳои ҷудошуда ё дар дохили автобусҳо назорати автоматики риояи қоидаҳои ҳаракати роҳро таъмин мекунад. Чунин камераҳо далелҳоро сабт мекунад.

3. Системаҳои назорати видеоӣ имкон медиҳад, ки маълумоти сабтшуда дар бораи қонуншиканиҳо ба мақомоти бозрасии давлатии автомобилӣ барои ба расмият даровардани ҷаримаҳо ба таври худкор ирсол карда шаванд. Ин раванд шумораи қонуншиканиҳоро коҳиш дода, интизими иштирокчиёни ҳаракатро баланд мебардорад.

Ғайр аз он, технологияҳои рақамӣ ба шаффофияти назорати истифодаи хатҳои ҷудошуда мусоидат намуда, ба коҳиш додани танбашавӣ ва беҳтар шудани қобилияти гузарониши роҳҳо мусоидат мекунад.

Хулоса

Ҳамин тавр, ҷорӣ намудани системаҳои рақамӣ барои ташкили хатҳои махсуси автобус ва назорати автоматики қонуншиканиҳо дар шаҳри Душанбе ба баланд бардоштани суръат ва сифат, кам кардани шумораи ҳуқуқвайронкуниҳо ва беҳтар кардани вазъии умумии нақлиёт мусоидат менамояд. Ин дар навбати худ, сатҳи ҳавасмандиро баландкарда селай мусофиронро афзоиш медиҳад ва гузариши қисми зиёди аҳоли аз нақлиёти шахсӣ ба нақлиёти ҷамъиятиро таъмин намуда, дар умум ба вазъии экологӣ ва самаранокии умумии системаи нақлиёти шаҳр таъсири мусбат мерасонад.

Чорӣ намудани технологияҳои рақамӣ дар низоми нақлиёти мусофирбарии шаҳри Душанбе, ба самаранокӣ ва сифати хизматрасонӣ таъсири назаррас расонида, имкон медиҳанд, ки хатҳои махсуси ҳаракати автобусҳо бо назардошти селайи мусофирон, вазъи роҳ ва ҷадвалҳои ҳаракат тарҳрезӣ шаванд, суръат ва эътимоднокии ҳаракати автобусҳо баланд, вақти сафар кам ва ҷолибияти нақлиёти ҷамъиятӣ зиёд шавад.

Инчунин, насби камераҳои назоратӣ риояи қоидаҳои таъмин, шумораи ҳуқуқвайронкуниҳоро коҳиш ва интизоми иштирокчиёро баланд менамоянд.

Ҳамзамон, чорӣ намудани чунин технология ба пешгӯии селайи мусофирон мусоидат намуда, захираҳои самаранок истифода мебарад ва ба беҳтар шудани мунтазамӣ ва сифати хизматрасонӣ мусоидат мекунад. Дар умум, ин равандҳо ба афзоиши гардиши мусофирон, гузариши аҳоли аз нақлиёти шахсӣ ба нақлиёти ҷамъиятӣ ва беҳтар шудани вазъи экологӣ самаранокӣ системаи нақлиётӣ оварда мерасонанд.

Аз ин лиҳоз, татбиқи технологияҳои рақамӣ дар рушди устувори нақлиёти мусофирбар ва беҳтар шудани сатҳи хизматрасонӣ ба аҳолии шаҳри Душанбе нақши муассир мегузоранд.

Муқарриз: Ғаҷабов А.А. – н.и.и., и.в. дотсенти кафедраи ғайолияти ғумруқии Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибқори Тоҷикистон.

Адабиёт

1. Биленко А. В., Медникова О. В. Цифровизация на транспорте: обеспечение возможностей для развития / А. В. Биленко, О. В. Медникова // Вестник Московской международной академии. - 2020. - № 1-2. - С. 128-135.
2. Воронин В. Н. Вопросы стратегического правового регулирования внедрения цифровых технологий на транспорте // Сибирское юридическое обозрение. - 2021. - Т. 18, № 2. - С. 128-137.
3. Шебшаевич В. С., Дмитриев П. П., Иванцевич Н. В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / Под ред. В. С. Шебшаевича. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1993. - 408 с.
4. Гудков В. А., Миротин Л. Б., Вельможин А. В., Ширяев С. А. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для вузов / Под ред. В. А. Гудкова. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004. - 448 с.
5. Козловский Е. Искусство позиционирования // Вокруг света. - М.: 2016. - С. 204-280.
6. Михалевский И. В., Катунин А. А., Новиков А. Н. Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса / Материалы 3-й Международной научно-практической конференции. - Под общ. ред. А. Н. Новикова. - 2013. - С. 132-136.
7. Саидзода Ф.Х., Чалилов У.Ч. Моҳияти иҷтимоию иқтисодӣ ва вазифаҳои нақлиёти мусофирбар дар шаҳри Душанбе // Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 3 (71). – Душанбе.
8. Абдукарими, А. Воситаи барқпуркунӣ барои электромобилҳо дар асоси стандартҳои байналмилалӣ / А. Абдукарими, Ш. Е. Холов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – No. 2(62). – Р. 17-21. – EDN ZTYVQN.

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

TJ	RU	EN
Саидзода Фирдавс Ҳамро	Саидзода Фирдавс Ҳамро	Saidzoda Firdavs Hamro
унвонҷӯии кафедраи ташкили интиқол ва идора дар нақлиёт	соискатель кафедры организации перевозок и управления на транспорте	candidate of the Department of Transportation Organization and Management
Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: firdavs.saidov.70@mail.ru		
TJ	RU	EN
Мирзоева Ниссобеги Шоназаршоевна	Мирзоева Ниссобеги Шоназаршоевна	Mirzoeva Nissobegim Shonazarshoevna
н.и.и., дотсенти кафедраи ташкили интиқол ва идора дар нақлиёт	кандидат экономических наук, доцент кафедры организации перевозок и управления на транспорте	Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Transportation Organization and Management
Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
Mirzoeva_niso@mail.ru		

АНАЛИЗ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЖИЛОГО ЗДАНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

М.М. Байматова, М.Б. Холзода

В статье рассматриваются методологические и практические подходы к управлению стоимости объектов недвижимости в процессе их жизненного цикла. Анализ жизненного цикла объектов недвижимости позволяет оценить их стоимость и эффективность их использования. Метод оценки эффективен в управлении недвижимостью и инвестиционного анализа, в чем проявляется его актуальность. Проведен анализ жилищного фонда по республике, сравнительный анализ городского и сельского жилищного фонда и оценка обеспеченности населения жильём в расчете на одного жителя за годы независимости страны по статистическим данным. На основе анализа жилищного строительства Республики Таджикистан выделены ключевые факторы стоимости на всех стадиях жизненного цикла здания. Проведен примерный расчет жизненного цикла многоэтажного жилого дома в г. Душанбе.

Ключевые слова: стоимость недвижимости, жилищное строительство, энергоэффективность объекта, жизненный цикл здания, Таджикистан.

ТАҲЛИЛИ СОҲТМОНИ МАНЗИЛ ВА АРЗЁБИИ АРЗИШИ ДАВРАИ ҲАЁТИИ БИНОИ ИСТИҚОМАТӢ ДАР ШАРОИТИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

М.М. Байматова, М.Б. Холзода

Дар мақола равишҳои методологӣ ва амалии идоракунии арзиши объектҳои амволи ғайриманқул дар ҷараёни давраи ҳаёти онҳо баррасӣ мешаванд. Таҳлили давраи ҳаёти объектҳои амволи ғайриманқул имкон медиҳад, ки арзиш ва самаранокии истифодаи онҳо арзёбӣ гардад. Ин усули арзёбӣ дар идоракунии амволи ғайриманқул ва таҳлили сармоягузорӣ самаранок буда, аҳамияти онро нишон медиҳад. Таҳлили фонди манзил дар миқёси ҷумҳурӣ гузаронида шудааст, аз ҷумла таҳлили муқоисавии фонди манзили шаҳрӣ ва деҳот, инчунин арзёбии таъмин будани аҳоли бо манзил ба ҳисоби як нафар дар солҳои истиқлолияти кишвар бар асоси маълумоти омӯрӣ анҷом дода шудааст. Дар асоси таҳлили сохтмони манзил дар Ҷумҳурии Тоҷикистон омилҳои калидии арзиш дар ҳамаи марҳилаҳои давраи ҳаёти бино муайян карда шудаанд. Ҳамчунин ҳисоботи тахминии давраи ҳаёти як бинои истиқоматии бисёрқошёна дар шаҳри Душанбе гузаронида шудааст.

Калидвожаҳо: арзиши амволи ғайриманқул, сохтмони манзил, самаранокии энергетикӣ, давраи ҳаёти бино, Тоҷикистон.

ANALYSIS OF HOUSING CONSTRUCTION AND ASSESSMENT OF THE LIFE CYCLE COST OF A RESIDENTIAL BUILDING IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

M.M. Baymatova, M.B. Kholzoda

The article examines methodological and practical approaches to managing the value of real estate objects throughout their life cycle. Life cycle analysis of real estate properties makes it possible to assess their value and the efficiency of their use. This evaluation method is effective in real estate management and investment analysis, which highlights its relevance. An analysis of the housing stock across the republic has been conducted, including a comparative analysis of urban and rural housing, as well as an assessment of housing provision per capita over the years of the country's independence based on statistical data. Based on an analysis of housing construction in the Republic of Tajikistan, key cost factors at all stages of a building's life cycle have been identified. An approximate life cycle cost calculation for a multi-storey residential building in the city of Dushanbe has also been carried out.

Keywords: real estate value, housing construction, energy efficiency of the facility, the life cycle of the building, Tajikistan.

Введение

Строительство как фондообразующая отрасль является одной из наиболее развивающихся отраслей экономики нашей страны. Жилищное строительство составляет основную долю объёма всех выполненных работ подрядными организациями за последнее десятилетие независимости Республики Таджикистан.

Объекты жилищного назначения является наиболее востребованным на рынке строительного производства. Повышенный спрос формируется ростом численности населения, переезда населения в крупные города, особенно в столицу Таджикистана - Душанбе, в областные центры - Бохтар, Худжанд и другие.

Кроме внутренней миграции в центральные регионы страны объём жилищного строения увеличился за счёт инвестирования с целью получения доходов. Инвестиции в жилищное

строительство является наиболее прибыльным и это подтверждается активным функционированием закрытых акционерных обществ с их приличными доходами.

Спрос на жилье обусловлен его уникальностью, энергоэффективностью, современным дизайном и высоким качеством. Под энергоэффективностью объекта понимается его способность обеспечивать необходимые условия (отопление, освещение, горячая вода, вентиляция) при потреблении минимального количества энергии, что достигается за счет рационального использования ресурсов и определяется классом энергоэффективности.

Методы исследования

При разработке вопросов (рассмотрения темы) использованы методы статистического, сравнительного и экономического анализа для анализа жилищного строительства, а также метод оценки жизненного цикла объекта недвижимости для оценки стоимости на всех стадиях её существования.

Основные теоретические и методические аспекты оценки имущества заложены в трудах таких зарубежных ученых, как: Дж.К.Эккерта, В.Петти, Т.Коупленда, Дж.Муррина, Дж.Фридмана, В.И.Петрова, А.А.Варламова, В.А.Горемыкина, П.Г.Грабового, С.В.Грибовского, С.П.Коростелева, В.Н.Кошмана, Л.А.Лейфера, Г.И.Микерина, В.Н.Мокиной, Е.С.Озерова, и другие. Теоретические и методические проблемы оценки рыночной стоимости освещены в трудах отечественных авторов: Раджабова Р.К., Шаропова Ф.Р. и другие, однако по направлению оценки объектов жилой недвижимости учёными до сих пор не рассмотрены.

В соответствии с Национальным стандартом оценки Республика Таджикистан при оценке недвижимого имущества используются доходный, затратный и сравнительный подходы, также учитываются факторы, связанные с самим объектом оценки, его окружением, месторасположением, фактическим состоянием, земельным участком, принадлежащим объекту оценки, комфортными условиями, а также физическими, функциональными и экономическими возможностями [3].

Однако, в целом существует кроме вышеуказанного несколько подходов управлению стоимости, такие как функционально-стоимостной анализ, управление ценностью объекта с учетом требований всех стейкхолдеров, расчет полной стоимости жизненного цикла и т.п. В статье мы рассмотрим применение метод определения полной стоимости жилого объекта по методу Life-Cycle Cost Analysis.

Учитывая специфику стоимости объекта недвижимости как инвестиционного проекта, можно сформулировать такое определение: «стоимость объекта недвижимости представляет собой стоимость капитального строительства, которая является частью стоимости инвестиционного проекта, и затраты в течение всего жизненного цикла объекта при условии учета капитализации первоначального инвестирования» [5].

Жизненный цикл объекта недвижимости — это совокупность стадий существования объекта, начинается от замысла и проектирования до ликвидации. Как непрерывный процесс, охватывает стадии планирования, проектирования, строительства, эксплуатации, реконструкции и демонтаж объекта они включены в международные стандарты ISO 15686.

Жизненный цикл объекта можно разбить на шесть этапов.

1. Выбор оптимального использования земельного участка и разработка проекта.
2. Процесс реализации проекта (период строительства объекта).
3. Обращение (купля-продажа, дарение, сдача в аренду и т.п.).
4. Эксплуатация объекта.
5. Модернизация (капитальный ремонт, реконструкция и т.д.).
6. Утилизация (снос) [5].

Перечисление этапов в последовательном порядке не следует трактовать как обязательный переход от модернизации к утилизации. Важно учитывать, что этапы 3–5 могут многократно повторяться. Для оценки эксплуатационной стадии жилой недвижимости следует анализировать жилищный фонд за время независимости нашей страны по статистическим данным. См. таблицу 1.

Таблица 1 – Жилищный фонд Республики Таджикистан (млн. м² общей жилплощади)

	1991	2000	2010	2020	2023	2024
Всего	50,5	56,3	66,2	104,8	110,6	112,7
г. Душанбе	7,5	9,6	8,0	11,6	16,6	17,4
Города и РРП	10,6	11,6	14,3	23,6	22,0	22,5
Согдийская область	18,1	19,4	22,7	32,4	33,8	34,2
Хатлонская область	12,6	13,7	18,1	34,0	34,8	35,2
ГБАО	1,7	2,0	3,1	3,2	3,4	3,4

Источник : составлено на основании [7]

За годы независимости страны объём жилищного фонда повышается средним темпом и активно повысился за последние десятилетие. Высокие показатели имеет Хатлонская и Согдийская область.

Анализ жилищного фонда оценивается по городским и сельским показателям. Статистические данные городского жилищного фонда предложены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Городской жилищный фонд (тысяч м² общей жилплощади)

	1991	2000	2010	2020	2023	2024
Всего	21140,7	24383,8	27805,3	36205,9	42521,2	43744,2
г. Душанбе	7440,4	9626,7	8016,6	11644,5	16572,1	17394,3
Города и РРП	1830,6	2264,4	2810,0	3669,9	4135,1	4224,0
Согдийская область	7802,7	8337,4	10280,3	11118,4	11662,1	11824,9
Хатлонская область	3840,5	3854,1	5425,0	8692,4	8940,2	9063,4
ГБАО	226,4	301,2	1273,2	1080,7	1211,7	1237,6

Источник: составлено на основании данных [7]

По данным таблицы можно сделать вывод, что за годы независимости РТ активно развивается жилищное строительство в городе Душанбе – столице страны, Согдийской области, Хатлонской области и самые низкие показатели в ГБАО. Объём в тысяч м² сельского жилищного фонда представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Сельский жилищный фонд (тысяч м² общей жилплощади).

	1991	2000	2010	2020	2023	2024
Всего	29491,5	31931,6	38424,1	68546,1	68058,6	68945,8
Города и РРП	8154,6	9330,1	11485,5	19876,5	17923,3	18284,4
Согдийская область	10345,2	11028,3	12391,5	21313,9	22105,0	22399,1
Хатлонская область	9561,9	9857,5	12718,5	25286,9	25890,9	26107,2
ГБАО	1429,7	1715,7	1828,6	2068,8	2139,4	2155,1

Источник : составлено на основании данных [7]

Общий объём городского и сельского жилищного фонда по регионам РТ за 2024 год в процентном выражении представлены на рисунке 1.

В общем, большая часть населения живут в сельской местности: за 2024 год в городском жилищном фонде объём жилплощади по городу Душанбе 40 %, Согдийской области - 27%, а сельский жилищный фонд данного региона -32%, в Хатлонской области - 21%, а сельский жилищный фонд - 38%, также в ГБАО число сельчан превышает число городского населения.

Проведенный анализ состояния жилищного строительства Республики Таджикистан выявляет, что за последние годы в Таджикистане наблюдается устойчивый рост объемов жилищного строительства, особенно в крупных городах. Повышенный спрос формируется за счет роста численности населения, внутренней миграцией, увеличением доходов населения и отечественной инвестицией.

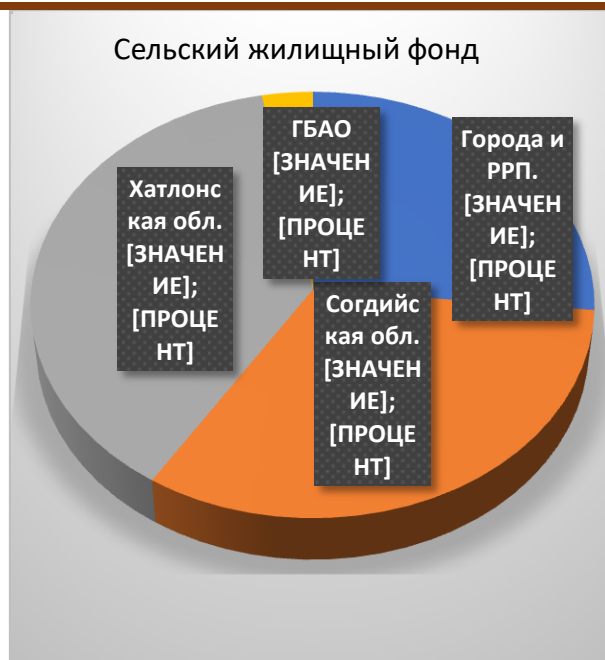
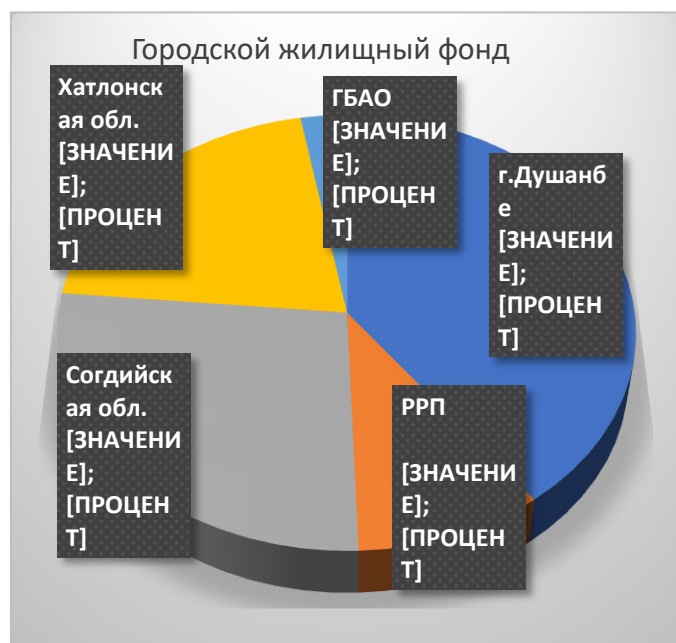


Рисунок 1 – Процентное соотношение городского и сельского жилищного фонда по регионам РТ за 2024 год.
Источник: составлено на основе данных таблицы 3.

Показатели обеспеченности и стоимостной доступности жилья являются одними из основных показателей социальной защищенности населения, его уровня благосостояния. По данным статистического Агентства РТ средняя обеспеченность населения жильём в расчете на одного жителя представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Средняя обеспеченность населения жильём в расчете на одного жителя (на конец года, м² общей площади).

	1991	2000	2010	2020	2023	2024
Всего	9,5	9,1	8,7	11,1	10,9	11,0
г. Душанбе	12,8	16,0	11,0	13,4	13,5	13,9
Города и РРП	8,1	8,8	8,3	10,7	10,2	10,2
Согдийская область	11,1	10,3	10,1	12,0	11,7	11,7
Хатлонская область	7,7	6,5	6,7	10,1	9,5	9,5
ГБАО	9,9	9,6	15,0	13,9	14,4	14,5

Источник : составлено на основании данных [7]

По сравнению с другими странами СНГ обеспеченность жильём в нашей стране невысокая, по статистическим данным республики относительно высокие показатели обеспеченности жильём имеет население ГБАО-24%, г. Душанбе -23% и Согдийская область-20%.

Результаты и обсуждение

Себестоимость объекта строительства на этапе строительства – это лишь одна часть стоимости, так как объект недвижимости на протяжении всего жизненного цикла проходит несколько этапов и имеет поэтапные цены. Факторами, влияющими на стоимость недвижимости является капитальные затраты состоящие из стоимости земли, проектирования, строительства и эксплуатационные расходы – содержание, ремонт, модернизация, коммунальные услуги.

Для комплексной оценки стоимости жилого здания на различных стадиях его существования использован метод анализа полной стоимости жизненного цикла (Life-Cycle Cost Analysis), позволяющий учитывать затраты на проектирование, строительство, эксплуатацию, модернизацию и возможную утилизацию объекта.

Для определения стоимости жизненного цикла выбран проект 14-этажного жилого дома в городе Душанбе проспект А. Сино, по кольцевому городскому значению - 2, продолжительность строительства с 2015-2020 год. Технические данные: объём здания – 26 x 28,7 x 59м; общая площадь квартир одного этажа – 634,61м²; общий объём здания – 36415 м³, средняя цена за квадратный метр – 8000 сомони.

Таблица 5 – Примерный расчет жизненного цикла многоэтажного жилого дома

№ п/п	Наименование показателя	Показатель	Стоимость жизненного цикла	Примечание
1	Срок жизненного цикла здания, лет	50		Лет эксплуатации
2	Общая полезная площадь здания, м²	8884		По данным проекта
3	Дата проведения расчетов	01.12.2025		
4	Дата начала строительства здания	2015		
5	Ставка дисконтирования, %	7.50		
6	Уровень инфляции, %	3,5		Статистические данные
7	Первоначальная – сметная стоимость жилого здания, сомони		71076320	По данным сметного расчета
	В том числе: - предынвестиционная стадия -этап проектирования -этап строительства	182912,24 70893407,7		
8	Расходы на оплату коммунальных услуг, сомони	222208		На жилой дом в год
№ п/п	Наименование показателя	Показатель	Стоимость жизненного цикла	Примечание
9	Сумма коммунальных платежей в течении жизненного цикла, сомони		38886400	За 50 лет в текущих ценах с учетом инфляции и дисконтирования
10	Расходы на текущий ремонт, сомони	100		С учетом объема работ на текущий ремонт в расчете на 1м² общей площади квартир
11	Расходы на текущий ремонт в течении жизненного цикла	1000000	10000000	Один раз в 7-8 лет с учетом инфляции
12	Расходы на капитальный ремонт и реконструкцию, сомони	150		На 1м² общей площади жилых помещений
13	Расходы на капитальный ремонт и модернизацию в течении жизненного цикла, сомони		3500000	Один раз в 25 лет с учетом инфляции
14	Расходы на снос здания 10% от сметной себестоимости	7107632		10% от стоимости с учетом транспортных расходов, без учёта стройматериалов и т.п
15	Расходы на снос здания с учетом окончания жизненного цикла объекта		7484344	С учётом инфляции
16	Итого стоимость жизненного цикла жилого здания		130947064	На общую площадь жилых помещений здания
17	Стоимость жизненного цикла в расчёте на 1м² общей площади		206342,6	На 1м² общей площади жилых помещений здания

Источник: собственная разработка автора

Приведенные расчеты сгруппируем по основным показателям и построим гистограмму в процентном выражении. См. рисунок 3.



Рисунок 3 – Стоимость жизненного цикла жилого здания в процентах.

Источник: собственная разработка автора

Заключение

По итогам расчета стоимости жизненного цикла можно сделать вывод, что определяющую роль в стоимости владения жилым помещением играют единовременные затраты, эксплуатационные затраты - коммунальные услуги в Таджикистане недорогие по сравнению с другими странами.

Расчеты приведены условно по ценам и тарифам 2025 года, не учтены затраты на электроэнергию, с изменением цен и тарифов стоимость соответственно изменится. Стоимость единовременных затрат на строительство составляет до 56 % стоимости жизненного цикла здания, это обусловлено дорогими иностранными строительными материалами и высокими ценами на технику и оборудования.

Проведенный анализ рынка жилищного строительства выявляет: стабильное повышение себестоимости строительства вызванный нестабильностью цен на строительные материалы, машин и механизмов, логистики, энергоэффективных мероприятий и инфляционное состояние экономики страны.

Управление стоимостью объектов недвижимости на протяжении всего жизненного цикла является ключевым инструментом повышения эффективности инвестиционно-строительных проектов.

Рецензент: Хасанов А.Р. – к.э.н., доцент кафедры инновационного менеджмента Технологического университета Таджикистана.

Литература

1. Саенко И. А., Хомич Д. Н. Особенности и парадигма управления стоимостью объектов жилой недвижимости // Фундаментальные исследования. — 2017. — № 3. — С. 205–211.
2. ISO 15686. Buildings and Constructed Assets — Service Life Planning.
3. Национальные стандарты оценки Республики Таджикистан. Постановлению Правительства Республики Таджикистан от 22 октября 2021 года, №440 https://investcom.tj/uploads/post_docs/104/QedshwNM6CYt.pdfAnnotation
4. Боровкова В. А. Экономика недвижимости: учебник и практикум для академического бакалавриата — М.: Юрайт, 2019. — 417 с.
5. Пупенцова С.В. Экономика недвижимости : учеб. пособие /С. В. Пупенцова. – 2-е изд., перераб. и доп. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 176 с.
6. Тепман Л. Н. Оценка недвижимости: Учебное пособие / Л. Н. Тепман, В. А. Артамонов. — М.: ЮНИТИ, 2015. — 591 с.

7. Регионы Таджикистана, Статистический ежегодник. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан, 2025г.

8. Амонова, Д. С. Исследование коммерческой и производственной деятельности проектных организаций в строительной отрасли Республики Таджикистан / Д. С. Амонова, М. М. Байматова, М. А. Шаропова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 4(56). – С. 90-97. – EDN LSMOAP.

9. Каримова, З. М. Ключевые аспекты управления рисками в строительном бизнесе / З. М. Каримова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 1(69). – С. 60-64. – EDN PASJIN.

МАЪЛУМОТ ОИДИ МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Байматова Манзура Менгатовна	Байматова Манзура Менгатовна	Baymatova Manzura Mengatovna
Номзади илми иқтисод, дотсент	к.э.н, доцент	Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical Univercity named after academician M.S. Osimi
E-mail: baymatova_2022@mail.ru		
TJ	RU	EN
Холзода Мухаммад	Холзода Мухаммад	Holzoda Muhammad
Магистранти курси 1	Магистрнт 1 курса	First-year Master's student
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical Univercity named after academician M.S. Osimi
E-mail: kholzoda02@bk.ru		

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННОЙ ЭКОНОМИКИ

Гаффорзода Нигорахон

Институт экономики и демографии НАНТ

В статье исследуются основные факторы обеспечения энергетической безопасности в условиях развития зеленой экономики. Обосновывается положение о том, что в современных условиях энергетическая безопасность формируется под воздействием сложной и динамичной совокупности экономических, институциональных, технологических, экологических и социальных факторов. Особое внимание уделяется разграничению понятий «принципы», «условия» и «факторы» энергетической безопасности и их иерархически упорядоченному взаимодействию. На основе системного подхода предложена классификация факторов, отражающая специфику энергетического перехода и цифровой трансформации. С учетом социально-экономических и энергетических реалий Республики Таджикистан обоснована необходимость перехода от ресурсно-ориентированной модели к комплексному управлению факторами устойчивости энергосистемы. Сделан вывод о том, что эффективное обеспечение энергетической безопасности в условиях зеленой экономики возможно лишь при согласованном воздействии государственной политики, институциональных механизмов и инвестиционно-технологических решений.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, зеленая экономика, факторы энергетической безопасности, возобновляемые источники энергии, устойчивое развитие, энергетическая политика, Республика Таджикистан.

ОМИЛҲОИ АСОСИИ ТАЪМИНИ АМНИЯТИ ЭНЕРГЕТИКӢ ДАР ШАРОИТИ РУШДИ ИҚТИСОДИ САБЗ

Гаффорзода Нигорахон

Дар мақола омилҳои асосии таъмини амнӣи энергетикӣ дар шароити рушди иқтисоди сабз мавриди таҳқиқ қарор дода шудаанд. Нишон дода мешавад, ки дар шароити муосир амнӣи энергетикӣ зери таъсири маҷмӯи мураккаб ва тағйирбандии омилҳои иқтисодӣ, институтсионалӣ, технологӣ, экологӣ ва иҷтимоӣ ташаккул меёбад. Таваҷҷуҳи махсус ба ҷудокунии мафҳумҳои «принсипҳо», «шартҳо» ва «омилҳо»-и амнӣи энергетикӣ ва ҳамкориҳои иерархӣи онҳо равона гардидааст. Дар асоси равиши системавӣ гурӯҳбандии омилҳо пешниҳод мегардад, ки хусусиятҳои гузариш ба иқтисоди сабз ва рақамизунонии соҳаи энергетикаро инъикос менамояд. Бо дарназардошти воқеиятҳои иҷтимоӣи иқтисодӣ ва энергетикӣи Ҷумҳурии Тоҷикистон зарурати гузариш аз модели захиравӣ ба идоракунӣи комплекси омилҳои устуворӣи низомӣи энергетикӣ асоснок карда мешавад. Хулоса бароварда мешавад, ки таъмини самараноки амнӣи энергетикӣ дар шароити иқтисоди сабз танҳо дар асоси ҳамроҳангии сиёсати давлатӣ, механизмҳои институтсионалӣ ва қарорҳои сармоягузорӣ-технологӣ имконпазир аст.

Калидвожаҳо: амнӣи энергетикӣ, иқтисоди сабз, омилҳои амнӣи энергетикӣ, манбаъҳои барқароршавандаи энергия, рушди устувор, сиёсати энергетикӣ, Ҷумҳурии Тоҷикистон.

KEY FACTORS OF ENSURING ENERGY SECURITY IN THE CONTEXT OF GREEN ECONOMY DEVELOPMENT

Ghafforzoda Nigorakhon

The article examines the key factors of ensuring energy security in the context of green economy development. It is argued that under modern conditions energy security is shaped by a complex and dynamic combination of economic, institutional, technological, environmental and social factors. Special attention is paid to distinguishing between the concepts of “principles,” “conditions,” and “factors” of energy security and to their hierarchical and systemic interaction. Based on a systems approach, a classification of factors is proposed that reflects the specifics of the energy transition and digital transformation. Taking into account the socio-economic and energy realities of the Republic of Tajikistan, the necessity of shifting from a resource-oriented model to comprehensive management of energy system resilience factors is substantiated. The study concludes that effective energy security in the green economy context can be achieved only through coordinated state policy, institutional mechanisms and investment-technological solutions.

Keywords: energy security, green economy, energy security factors, renewable energy sources, sustainable development, energy policy, Republic of Tajikistan.

В условиях нарастающих глобальных трансформаций мировой энергетики проблема обеспечения энергетической безопасности приобретает принципиально новое содержание и значение. Переход к «зеленой» экономике, сопровождающийся декарбонизацией, цифровизацией и структурной перестройкой энергетических систем, существенно изменяет традиционные представления о факторах устойчивости и надежности энергоснабжения. Если ранее энергетическая безопасность преимущественно ассоциировалась с наличием достаточной ресурсной базы и стабильностью поставок, то в современных условиях она все в большей степени определяется

комплексом взаимосвязанных экономических, институциональных, технологических, экологических и социальных детерминант.

Целью настоящей статьи является выявление и структурирование ключевых факторов обеспечения энергетической безопасности в условиях развития зеленой экономики на основе системного подхода. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: раскрывается содержательное различие между принципами, условиями и факторами энергетической безопасности; осуществляется классификация факторов с учетом современных технологических, институциональных и климатических вызовов; обосновывается их взаимосвязь и функциональная роль в формировании устойчивости энергетической системы.

Если условия представляют собой относительно стабильную среду, то факторы энергетической безопасности выступают в качестве активных, изменчивых сил, которые оказывают непосредственное и постоянное воздействие на ее уровень и состояние. Именно мониторинг и управление этими динамическими детерминантами становятся основной оперативной задачей для обеспечения устойчивости энергосистемы, особенно в условиях турбулентности и трансформации. Как справедливо отмечает Р. Шао, совокупность факторов, влияющих на энергетическую безопасность, носит комплексный и взаимосвязанный характер, требуя системного подхода к их анализу [12]. В отечественной литературе также подчеркивается, что выявление и оценка этих факторов являются ключевым этапом диагностики состояния энергетической безопасности [3].

Ресурсно-энергетические факторы составляют материальную основу энергобезопасности. К ним относятся динамика разведанных запасов и уровень добычи традиционных энергоресурсов, потенциал и технологическая доступность возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также степень диверсификации источников и маршрутов поставок топлива. Важность водно-энергетического потенциала как фактора энергобезопасности для стран Центральной Азии подчеркивается в работе А.К. Усеновой, что иллюстрирует региональную специфику данной группы факторов [11]. При этом, как отмечает В.А. Котова в контексте анализа нефтегазовых компаний, доступность и экономика добычи ресурсов напрямую влияют на устойчивость ключевых игроков рынка [7].

Экономико-финансовые факторы оказывают прямое влияние на инвестиционную активность, стоимость энергии и общую экономическую устойчивость сектора. Сюда относятся конъюнктура мировых цен на энергоносители, стоимость заемного капитала и доступность финансирования, налоговое бремя, структура издержек энергокомпаний, а также платежеспособный спрос. В.В. Лебедев указывает на существенное влияние геополитических факторов на экономические аспекты энергобезопасности России, что проявляется через колебания цен и санкционные ограничения [8]. С другой стороны, внутренние регуляторные решения, такие как тарифообразование, также выступают критическими факторами экономической безопасности самих энергетических предприятий, как показано в исследовании М.Ю. Стороженко и И.А. Калашниковой [10].

Институционально-правовые и геополитические факторы формируют «правила игры» на национальном и международном уровне. К ним относятся качество и стабильность законодательства в энергетической сфере, эффективность антимонопольного регулирования, выполнение международных климатических обязательств, а также общая геополитическая обстановка, влияющая на логистику и сотрудничество. Формирование общих рынков энергоресурсов в рамках ЕАЭС рассматривается А.У. Назаровой как фактор, усиливающий энергобезопасность стран-участниц через интеграционные институты [9]. Работа Ц. Янь анализирует, как политические и геополитические факторы влияют на стратегическое партнерство в энергетической сфере между крупными державами [13]. Нейтралитет Туркменистана, по мнению А.С. Качелина, выступает важным фактором стабильности и энергобезопасности для России в регионе Центральной Азии [5].

Технологические факторы в эпоху «зеленого» перехода и цифровизации приобретают решающее значение. Это темпы инноваций и снижения стоимости ключевых технологий (ВИЭ, накопители, водород), уровень цифровизации и кибербезопасности энергоинфраструктуры, развитие интеллектуальных сетей (smart grids). Планирование развития децентрализованных энергосистем для изолированных территорий, как показано в исследовании В.В. Беспалова и др., является конкретным технологическим фактором, повышающим надежность энергоснабжения [1].

И.И. Епишкин рассматривает энергетическую безопасность как драйвер для ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике, подчеркивая их взаимосвязь [2].

Параллельно с открывающимися возможностями технологическая трансформация порождает и принципиально новые уязвимости, выдвигая на первый план фактор киберустойчивости и технологического суверенитета цифровой платформы энергосистемы. Если ранее надежность понималась, прежде всего, в физическом и инженерном ключе (устойчивость оборудования к нагрузкам, авариям, природным явлениям), то сегодня она неотделима от цифровой безопасности. Активное внедрение интеллектуальных сетей (Smart Grid), интернета вещей (IoT) для мониторинга оборудования, систем автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП) и распределенной энергетики радикально повышает эффективность и гибкость системы, но одновременно расширяет поверхность для потенциальных кибератак. Энергетический сектор становится одной из наиболее приоритетных целей для хакерских групп как криминальной, так и государственной принадлежности.

Иными словами, данный фактор представляет собой совокупность рисков, связанных с уязвимостью информационно-управляющих систем энергетических объектов к несанкционированному вмешательству, и степенью зависимости от иностранных технологий и решений в этой сфере. Он включает в себя не только техническую способность отражать кибервторжения, но и институциональную готовность (наличие компетенций, нормативной базы, планов реагирования на инциденты), а также проблему технологического суверенитета - зависимости от импортного программного обеспечения, микропроцессоров и телекоммуникационного оборудования, поставки или обновления которых могут быть ограничены по геополитическим мотивам. Игнорирование этого фактора может привести к реализации катастрофических сценариев, когда физически исправная инфраструктура оказывается парализована в результате целенаправленной кибератаки, что ставит под угрозу непрерывность энергоснабжения на национальном уровне.

Экологические и климатические факторы трансформируются из фоновых ограничений в активные детерминанты энергетической политики. Ужесточение экологических стандартов и норм выбросов, физические риски изменения климата (экстремальные погодные явления), а также трансграничное экологическое регулирование напрямую влияют на структуру генерации, издержки и инвестиционные планы. Растущее влияние международных экологических стандартов и принципов устойчивого развития отмечается в современных исследованиях как ключевой тренд [6]. Социальные и кадровые факторы завершают систему, связывая энергобезопасность с человеческим измерением. К ним относятся общественное восприятие энергетических проектов (включая «зеленые»), уровень энергетической бедности и доступности услуг, а также состояние человеческого капитала в отрасли. Э.А. Исраилова и Д.В. Личковаха обосновывают, что человеческий капитал является критическим фактором обеспечения энергетической безопасности, определяющим способность к инновациям и эффективной эксплуатации сложных систем [4]. Авторы акцентируют внимание на человеческом факторе в производственной деятельности как на ключевом элементе культуры безопасности в энергетическом комплексе.

Таким образом, энергетическая безопасность формируется под постоянным и сложным воздействием динамической совокупности факторов. Их особенность заключается в взаимовлиянии: технологический прорыв меняет экономику проектов (экономический фактор), что, в свою очередь, требует адаптации регуляторной базы (институциональный фактор) и может вызывать общественную дискуссию (социальный фактор). Эффективное управление энергобезопасностью в условиях «зеленой» трансформации предполагает не пассивное приспособление к этим факторам, а активное стратегическое воздействие на них через механизмы государственной политики, корпоративного управления и международного сотрудничества, что создает основу для формирования устойчивой и адаптивной энергетической системы будущего.

В целом, проведенный анализ принципов, условий и факторов позволяет рассматривать энергетическую безопасность в условиях развития зеленой экономики как результат их системного и иерархически упорядоченного взаимодействия. Для обобщения и структурирования выявленных

методологических положений целесообразно представить их в виде сводной таблицы, отражающей функциональную роль каждого элемента в формировании устойчивости энергетической системы.

Таблица 1 – Принципы, условия и факторы обеспечения энергетической безопасности в условиях развития зеленой экономики

Элемент методологии	Содержание	Функциональная роль в энергетической безопасности
Принципы обеспечения энергетической безопасности	Системность, устойчивость, диверсификация источников и технологий, адаптивность, экономическая доступность, экологическая приемлемость	Формируют нормативно-методологическую основу обеспечения энергетической безопасности и задают целевые ориентиры функционирования энергетической системы в условиях зеленого перехода
Условия Обеспечения энергетической безопасности	Макроэкономическая стабильность, институциональная согласованность, наличие инвестиционно-финансовых механизмов, технологическая готовность, развитость инфраструктуры	Определяют возможность практической реализации принципов энергетической безопасности и выступают средой, в рамках которой формируется устойчивость энергетической системы
Факторы обеспечения энергетической безопасности	Ресурсные, технологические, инвестиционные, институциональные, климатические, социальные и внешнеэкономические факторы	Оказывают прямое и косвенное воздействие на уровень энергетической безопасности, формируя как риски, так и потенциальные источники повышения устойчивости системы
Характер Взаимосвязи элементов	Принципы реализуются через условия, а их результативность определяется совокупным воздействием факторов	Обеспечивает системное и иерархически упорядоченное взаимодействие элементов методологии энергетической безопасности
Результат взаимодействия	Формирование адаптивной, устойчивой и сбалансированной энергетической системы	Энергетическая безопасность рассматривается как итог согласованного действия нормативных и объективных детерминант развития зеленой экономики

Составлено автором.

Проведенный в параграфе системный анализ позволил сформировать целостный концептуальный каркас энергетической безопасности, адаптированный к вызовам и возможностям «зеленой» трансформации. Этот каркас, построенный как трехуровневая структура, выявляет внутреннюю логику формирования и обеспечения энергетической безопасности, трансформируя ее из набора декларативных положений в рабочую аналитическую модель.

На методологическом уровне энергетическая безопасность предстает как результат сложного взаимодействия трех взаимосвязанных категорий. Во-первых, принципы - системности, устойчивости и адаптивности, экономической доступности, экологической допустимости, институциональной согласованности и долгосрочной сбалансированности интересов - задают устойчивые ценностно-нормативные ориентиры, формирующие философию управления и «координатную сетку» для оценки любых решений и политик. Они переводят абстрактные цели в систему конкретных требований, интегрально учитывающих как традиционные приоритеты надежности, так и новые экологические и социальные императивы.

Во-вторых, условия - макроэкономическая стабильность, институциональная зрелость сектора, инвестиционно-финансовая обеспеченность, технологическая готовность, предсказуемость государственной политики и объективные природно-климатические рамки - образуют относительно стабильную среду, объективный контекст, в котором эти принципы реализуются. Они определяют стартовые возможности и системные ограничения, создавая фон для деятельности всех субъектов

энергетического рынка. Без учета этих условий любые управленческие решения рискуют остаться благими намерениями, не находящими почвы для воплощения.

В-третьих, факторы - ресурсно-энергетические, экономико-финансо-вые, институционально-правовые и геополитические, технологические, экологические и климатические, социальные и кадровые - выступают в роли активных, динамических детерминант. Именно они оказывают непосредственное, часто изменчивое и много векторное воздействие на текущее состояние и перспективный уровень энергетической безопасности, требуя постоянного мониторинга, анализа и адаптивного управленческого реагирования.

Таким образом, предложенная триада «принципы – условия – факторы» позволяет преодолеть традиционную фрагментарность в понимании энергетической безопасности. Она демонстрирует, что устойчивость энергосистемы в эпоху перехода к «зеленой» экономике не может быть обеспечена ни за счет следования одним лишь принципам в отрыве от реальных условий, ни за счет реактивного управления факторами без опоры на стратегические ориентиры. Только их синергетическое рассмотрение, где принципы задают цель, условия определяют поле действий, а факторы являются объектом управления, открывает путь к созданию устойчивой, адаптивной и сбалансированной системы. Сформулированный концептуальный каркас выполняет важную методологическую функцию: он служит теоретическим фундаментом, на котором могут быть выстроены как инструменты диагностики и измерения, так и система конкретных механизмов обеспечения. Он позволяет перейти от общих рассуждений о «важности» энергетической безопасности к структурированному анализу ее внутренних взаимосвязей и внешних зависимостей, что является необходимым условием для разработки эффективной государственной политики и корпоративных стратегий в условиях глобальной энергетической трансформации.

Проведенное исследование факторов обеспечения энергетической безопасности в условиях развития зеленой экономики позволяет сформулировать следующие выводы и предложения.

- энергетическая безопасность в условиях зеленой трансформации определяется воздействием комплекса взаимосвязанных экономических, институциональных, технологических и экологических факторов; их совокупное влияние формирует устойчивость функционирования энергетических систем и определяет возможности адаптации энергетического сектора к современным глобальным вызовам;

- для Республики Таджикистан ключевым фактором энергетической устойчивости выступает рациональное использование гидроэнергетического потенциала; вместе с тем зависимость энергосистемы от природно-климатических условий и ограниченность инвестиционных ресурсов усиливают необходимость совершенствования механизмов управления энергетическим развитием;

- повышение устойчивости энергетической системы предполагает совершенствование институциональных механизмов регулирования энергетического сектора и развитие долгосрочного стратегического планирования;

- развитие энергетического сектора требует расширения инвестиционных механизмов, включая использование инструментов государственно-частного партнерства и привлечение международных финансовых ресурсов;

- существенное значение приобретает цифровизация управления энергетической инфраструктурой; использование систем мониторинга и прогнозирования позволяет повысить эффективность функционирования энергосистемы;

- укрепление энергетической устойчивости предполагает постепенную диверсификацию источников генерации, включая развитие солнечной и ветровой энергетики, а также внедрение технологий повышения энергоэффективности.

Рецензент: Хамроев Ф.М. – д.э.н., профессор, зав.кафедрой экономики и транспортной логистики ТПУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Безпалов В.В., Ленков Д.А., Козлова Н.Е. Планирование развития децентрализованных электроэнергетических систем как фактор повышения энергетической безопасности изолированных территорий // Промышленность: экономика, управление, технологии. - 2024. Т. 3. № 1 (8). - С. 6–20.

2. Епишкин И.И. Энергетическая безопасность как фактор ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере Российской Федерации // Вестник Московского гуманитарно-экономического института. 2020. № 3. С. 119–122.
3. Исайнов, Х. Р. Региональные аспекты обеспечения водно-энергетической безопасности (на материалах стран Центральной Азии) / Х. Р. Исайнов, У. О. Кимсанов. – Душанбе: ООО "Эр-Граф", 2020. – 274 с.
4. Исраилова Э.А., Личковаха Д.В. Человеческий капитал как фактор обеспечения энергетической безопасности // В кн.: Технологии и человеческий капитал: ключевые факторы устойчивого роста. Ростов-на-Дону, 2024. - С. 61–71.
5. Качелин А.С. Нейтралитет Туркменистана как фактор энергетической безопасности и добрососедства для России в Средней Азии // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2023. № 6 (138). - С. 80–86.
6. Ковтун О.И. Энергетическая политика ЕС через призму вопросов безопасности // ЦИТИСЭ. 2024. № 3 (41). - С. 25–39.
7. Котова В.А. Analysis of economic security factors of Russian oil and gas companies in the context of energy transition // Innovation Science. 2024. № 1–2. С. 86–90.
8. Лебедев В.В. Влияние геополитических факторов на энергетическую безопасность Российской Федерации // Экономика высокотехнологичных производств. 2024. Т. 5. № 2. - С. 229–237.
9. Назарова А.У. Формирование общих рынков энергоресурсов ЕАЭС как фактор обеспечения энергетической безопасности // Юридическая наука. 2024. № 8. С. 314–319.
10. Стороженко М.Ю., Калашникова И.А. Регулирование тарифообразования как важнейший фактор экономической безопасности энергетических предприятий // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2021. № 5 (55). - С. 155–163.
11. Усенова А.К. Водно-энергетический потенциал Центральной Азии как фактор энергетической безопасности // Вестник научных конференций. 2015. № 3–8 (3). С. 52–55.
12. Шао Р. Factors affecting energy security // Economy and Banks. 2024. № 1. - С. 108–114.
13. Янь Ц. Влияние политических и геополитических факторов на укрепление энергетической безопасности и стратегического партнерства Пекина, и Москвы // Вестник науки и творчества. 2021. № 11 (71). - С. 45–53.
14. Давлатзода, Қ. Қ. Тачрибаи хоричӣ оид ба ташаккул ва рушди кластерҳои агросаноатӣ дар минтақа / Қ. Қ. Давлатзода, Ч. Б. Халифзода // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – No. 3(55). – Р. 88-93. – EDN VCBOLL.
15. Тиллоева, П. Р. К вопросу оценки факторов, влияющих на экономическую безопасность Таджикистана / П. Р. Тиллоева, З. С. Раджабова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 2(46). – С. 64-67. – EDN QCILSN.

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

TJ	RU	EN
Гаффорзода Нигорахон	Гаффорзода Нигорахон	Ghafforzoda Nigorakhon
н.и.и.	к.э.н	Candidate of Economical Sciences
Институти иқтисод ва демографияи АМИТ	Институт экономики и демографии НАНТ	Institute of Economics and Demography of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: unusova_nigora@mail.ru		

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭСКРОУ-СЧЕТОВ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, КАК ИНСТРУМЕНТА ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

З.М. Каримова

Душанбинский филиал Национального исследовательского технологического университета
«МИСИС»

В статье рассматривается использование эскроу-счетов в жилищном строительстве Республики Таджикистан как инструмента повышения экономической безопасности строительной отрасли. Анализируются особенности функционирования механизма эскроу-счетов, международный опыт их применения, а также преимущества и ограничения для ключевых участников рынка - покупателей жилья и застройщиков. Представлены данные о текущем состоянии и источниках финансирования строительного сектора Таджикистана. Особое внимание уделяется необходимости создания правовой базы и институциональных условий для внедрения эскроу-счетов на национальном уровне. Приводится пример успешного пилотного использования эскроу-механизма в энергетическом секторе страны, что открывает возможности для его дальнейшего распространения в жилищном строительстве. Внедрение эскроу-счетов рассматривается как эффективный инструмент повышения прозрачности финансовых операций, защиты прав участников долевого строительства и укрепления экономической безопасности отрасли. В целом, статья подтверждает, что внедрение эскроу-счетов способствует повышению прозрачности финансовых операций, снижению рисков и укреплению доверия к строительной отрасли.

Ключевые слова: эскроу-счета, жилищное строительство, экономическая безопасность, финансовая прозрачность, долевое строительство, инвестиции, строительная отрасль, международный опыт.

ИСТИФОДАИ ҲИСОБҲОИ ЭСКРОУ ДАР СОХТМОНИ МАНЗИЛ ҲАМЧУН ВАСОИТИ БАЛАНД БАРДОШТАНИ АМНИЯТИ ИҚТИСОДИИ СОҲАИ СОХТМОН

З.М. Каримова

Дар ин мақола истифодаи суратҳисобҳои эскроу дар сохтмони манзил дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳамчун воситаи беҳтар кардани амнияти иқтисодии соҳаи сохтмон баррасӣ мешавад. Дар он хусусиятҳои ғайриқонунии механизми суратҳисоби эскроу, таҷрибаи байналмилалӣ оид ба татбиқи он ва бартарихи ва маҳдудиятҳо барои иштирокчиёни асосии бозор - харидорони манзил ва таҳиягарон таҳлил карда мешаванд. Маълумот дар бораи вазъи кунунӣ ва манбаҳои маблағгузорӣ барои бахши сохтмон дар Тоҷикистон пешниҳод карда мешавад. Таваҷҷӯҳи махсус ба зарурати эҷоди ҷаҳорҷӯбаи ҳуқуқӣ ва шароити институционалӣ барои татбиқи суратҳисобҳои эскроу дар сатҳи миллий зоҳир карда мешавад. Намунаи муваффақонаи озмоиши механизми эскроу дар бахши энергетикаи кишвар пешниҳод карда мешавад, ки имкониятҳои барои густариши минбаъдаи он ба сохтмони манзил фароҳам меорад. Чорӣ намудани суратҳисобҳои эскроу ҳамчун воситаи муассир барои баланд бардоштани шаффофияти амалиётҳои молиявӣ, ҳифзи ҳуқуқҳои иштирокчиёни сохтмони сахҳомӣ ва тақвияти амнияти иқтисодии соҳа баррасӣ мешавад. Дар маҷмӯъ, мақола тасдиқ мекунад, ки чорӣ намудани суратҳисобҳои эскроу ба афзоиши шаффофияти амалиётҳои молиявӣ, қоҳиш додани хатарҳо ва афзоиши эътимод ба соҳаи сохтмон мусоидат мекунад.

Калидвожаҳо: суратҳисобҳои эскроу, сохтмони манзил, амнияти иқтисодӣ, шаффофияти молиявӣ, сохтмони муштарақ, сармоягузорӣ, соҳаи сохтмон, таҷрибаи байналмилалӣ.

THE USE OF ESCROW ACCOUNTS IN HOUSING CONSTRUCTION AS A TOOL TO INCREASE ECONOMIC SECURITY OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Z.M. Karimova

This article examines the use of escrow accounts in housing construction in the Republic of Tajikistan as a tool for improving the economic security of the construction industry. It analyzes the operating features of the escrow account mechanism, international experience with its application, and the advantages and limitations for key market participants—homebuyers and developers. Data on the current state and sources of financing for the construction sector in Tajikistan is presented. Particular attention is paid to the need to create a legal framework and institutional conditions for the implementation of escrow accounts at the national level. A successful pilot example of the escrow mechanism in the country's energy sector is provided, opening up opportunities for its further expansion into housing construction. The introduction of escrow accounts is viewed as an effective tool for increasing the transparency of financial transactions, protecting the rights of equity construction participants, and strengthening the economic security of the industry. Overall, the article confirms that the introduction of escrow accounts contributes to increased transparency of financial transactions, reduced risks, and increased trust in the construction industry.

Keywords: escrow accounts, housing construction, economic security, financial transparency, shared construction, investments, construction industry, international experience.

Введение

Жилищное строительство является одной из ведущих отраслей экономики Республики Таджикистан, оказывающей существенное влияние на уровень социально-экономического развития страны. В последние годы государственная политика направлена на стимулирование

инвестиционной активности в строительстве, улучшение жилищных условий населения и формирование прозрачных механизмов финансирования строительных проектов. Однако, несмотря на положительную динамику, отрасль сталкивается с рядом системных проблем, связанных с низкой финансовой дисциплиной отдельных застройщиков, недостаточной прозрачностью операций, рисками недостроев и потерей доверия со стороны граждан.

В этих условиях особую актуальность приобретает внедрение механизмов, направленных на повышение экономической безопасности строительного сектора, снижение рисков участников рынка и укрепление инвестиционной привлекательности отрасли. Одним из таких инструментов выступает механизм эскроу-счетов.

Эскроу-счет – это форма организации расчётов, при которой денежные средства инвесторов (дольщиков) размещаются на специальном банковском счёте и передаются застройщику только после выполнения определённых условий, например, завершения строительства и ввода объекта в эксплуатацию [13].

Опыт ряда стран, показал, что внедрение системы эскроу-счетов способно существенно повысить уровень финансовой прозрачности и снизить вероятность финансовых злоупотреблений. Для Таджикистана использование данного инструмента может стать важным направлением реформирования строительного сектора, направленным на повышение его устойчивости, защиту прав инвесторов и обеспечение экономической безопасности.

Целью настоящей статьи является анализ возможностей применения эскроу-счетов в жилищном строительстве Таджикистана как инструмента повышения экономической безопасности строительной отрасли, а также выявление преимуществ, проблем и перспектив их внедрения в национальную практику.

Материалы и методы исследования

Исследование основано на анализе нормативно-правовых актов Республики Таджикистан, регулирующих использование эскроу-счетов в жилищном строительстве, и на сопоставлении с аналогичными правовыми актами Российской Федерации. Теоретическую базу составили научные труды отечественных и зарубежных исследователей, рассматривающих правовые и экономические аспекты применения эскроу-механизмов в жилищном строительстве.

Эмпирическая база сформирована на основе статистических данных Агентства по статистике при Президенте Республики Таджикистан, а также материалов судебных архивов г. Душанбе, отражающих практику правоприменения в сфере долевого строительства. В исследовании дополнительно использовались аналитические интернет-источники, посвященные международной практики функционирования системы эскроу-счетов.

Применение формально-логического метода, анализа, синтеза и методов обработки статистических данных позволило выявить особенности правового регулирования и оценить влияние внедрения эскроу-счетов на экономическую безопасность строительного сектора Республики Таджикистан.

Обсуждение

Современное жилищное строительства большое внимание уделяет защите финансовых интересов граждан – участников долевого строительства.

Для минимизации рисков клиентов и повышения дисциплины застройщиков эффективным инструментом становится механизм эскроу-счетов. Система работает по принципу аккумулирования денег на специальном банковском счете, которыми может располагать застройщик только по выполнению условий договора, таких как завершение строительства и регистрация прав собственности. В случае невыполнения условий средства возвращаются вкладчику, что снижает финансовые риски и укрепляет доверие к рынку недвижимости [7]. Таким образом, внедрение эскроу-счетов способствует повышению прозрачности финансовых потоков и устойчивому развитию строительного сектора.

Для наглядного понимания ниже представлен рисунок 1, демонстрирующий основные этапы движения средств между заказчиком, банком и застройщиком в рамках работы эскроу-счёта [15].



Рисунок 1– Механизм функционирования эскроу-счёта в жилищном строительстве

Рисунок 1 иллюстрирует процесс работы эскроу-счёта на практике. Покупатель перечисляет средства на специальный счёт в банке, где они блокируются до выполнения застройщиком всех обязательств. Банк осуществляет контроль целевого использования средств и переводит их только после завершения строительства и подписания актов приёмки. В случае нарушения условий договора деньги возвращаются заказчику. Такая система не только защищает права граждан, но и повышает прозрачность финансовых потоков, стимулирует застройщиков соблюдать обязательства и укрепляет позиции банков в качестве надёжного посредника на рынке жилья [8].

После рассмотрения механизма работы эскроу-счётов на практическом примере на рисунке 1, целесообразно проанализировать опыт их применения в различных странах. Таблица 1 представляет сравнительный анализ особенностей механизма эскроу-счётов, целей и результатов его внедрения в жилищном строительстве в международной практике.

Таблица 1 – Сравнительный анализ применения эскроу-счётов в жилищном строительстве

	Особенности механизма эскроу-счёта	Цели и результаты применения
Китай [12]	Эскроу-счета обязательны для всех застройщиков. Банки контролируют использование средств, выделяемых на каждый объект.	Обеспечение достройки объектов и рациональное использования финансовых средств, борьба с мошенничеством на рынке недвижимости.
Германия [13]	Механизм эскроу интегрирован в ипотечную систему. Средства покупателей блокируются до регистрации права собственности.	Обеспечение прозрачности сделок и защита интересов покупателей при купле-продаже жилья.
США [10, 14]	Эскроу применяется при ипотечных расчетах и строительных контрактах. Управляется специализированными эскроу-агентами.	Обеспечение своевременных платежей по кредитам, защита интересов всех сторон сделки.
ОАЭ [15]	Все застройщики обязаны использовать эскроу-счета, контролируемые Земельным департаментом.	Защита инвесторов, предотвращение незаконного использования средств, повышение прозрачности рынка недвижимости.
Россия [16]	Средства дольщиков размещаются в банке и поступают застройщику только после ввода объекта в эксплуатацию.	Защита прав граждан – участников долевого строительства, снижение рисков обмана дольщиков.

Источник: составлено автором на основе анализа нормативных актов и материалов профильных ведомств указанных стран. [10-16].

Сравнение международного опыта применения эскроу-счетов (табл.1) показывает их эффективность в повышении прозрачности и экономической безопасности жилищного строительства. Для обеспечения целевого использования денег и снижения разного рода мошенничества в Китае эскроу-счета обязательны для всех застройщиков с контролем банками расходования средств по каждому объекту [12]. Для защиты интересов инвесторов и обеспечения своевременных платежей, в Германии [13] и США эскроу-счета интегрированы в ипотечные расчеты, блокирующие средства покупателей до завершения сделки или строительства жилья [14]. ОАЭ предотвращает незаконное использование средств, контролирует использование эскроу-счетов, что повышает прозрачность рынка [15]. Российская практика демонстрирует высокую эффективность: средства дольщиков перечисляются застройщику исключительно после ввода объекта в эксплуатацию, что минимизирует риски недобросовестных действий и укрепляет доверие к строительному сектору [16]. Учитывая этот опыт, применение механизма эскроу-счетов в Таджикистане может быть целесообразно реализовать в формате проектного финансирования при участии Государственного сберегательного банка Республики Таджикистан (ГСБ РТ «Амонатбанк») и коммерческих банков. Такой подход обеспечит защиту прав участников долевого строительства, ускорит завершение объектов и повысит инвестиционную привлекательность жилищного рынка.

Международная практика показывает, что использование механизма эскроу-счетов способствует стабилизации рынка строительства, сокращению количества незавершенных объектов и повышению инвестиционной привлекательности отрасли. Эффективность функционирования данной системы обеспечивается активной ролью банковского сектора и государственным контролем.

Ключевым фактором успеха является законодательная база, которая регулирует взаимодействие между банками, застройщиками и покупателями жилья, обеспечивая прозрачность операций и защиту интересов всех участников.

Для Таджикистана данный опыт представляет особую ценность, поскольку национальный строительный рынок характеризуется высоким уровнем финансовых рисков, а законодательная база в сфере долевого строительства осуществляется преимущественно через гражданско-правовые нормы (статья 53 ГК РТ) [1].

После анализа международного опыта целесообразно рассмотреть влияние эскроу-счетов на ключевых участников рынка - потребителей жилья и застройщиков, выявить преимущества и ограничения их применения. Для одних он обеспечивает финансовую защиту и прозрачность операций, для других — требует более строгого контроля за движением средств и повышает ответственность за выполнение обязательств. Для наглядного представления преимуществ и недостатков данного механизма рассмотрим их в сравнительном аспекте (таблица 2).

Таблица 2 – Преимущества и недостатки применения эскроу-счетов для участников жилищного строительства

Сторона	Преимущества применения эскроу-счетов	Недостатки и ограничения
Покупатель жилья	-защита вложенных средств; -снижение риска обмана; -прозрачность расчётов и гарантия завершения строительства.	-ограниченная возможность контроля за сроками строительства; -возможное удорожание жилья из-за расходов на банковское обслуживание.
Застройщик	-повышение доверия инвесторов и покупателей; -доступ к устойчивому финансированию через банки; -снижение юридических рисков.	-ограниченный доступ к средствам до завершения этапов работ; -увеличение финансовых и административных затрат.

Источник: составлено автором [5].

Как показано в таблице 2, внедрение механизма эскроу-счетов оказывает комплексное влияние как на потребителей жилья, так и на застройщиков. Для покупателей основными

преимуществами выступают защита вложенных средств, снижение риска обмана и повышение прозрачности расчётов, то способствует укреплению доверия к строительной отрасли.

В целом, проведенный анализ показывает, что использование эскроу-счетов позволяет достичь баланса интересов между покупателями и застройщиками, обеспечивая прозрачность, финансовую дисциплину и устойчивое развитие жилищного рынка. При условии эффективного банковского надзора и наличия соответствующей законодательной базы данный инструмент может стать важным фактором экономической безопасности строительной отрасли Таджикистана.

Для более наглядного понимания текущего состояния строительной отрасли Таджикистана представлен анализ динамики ввода жилых домов и источников финансирования (рис. 1) [9].

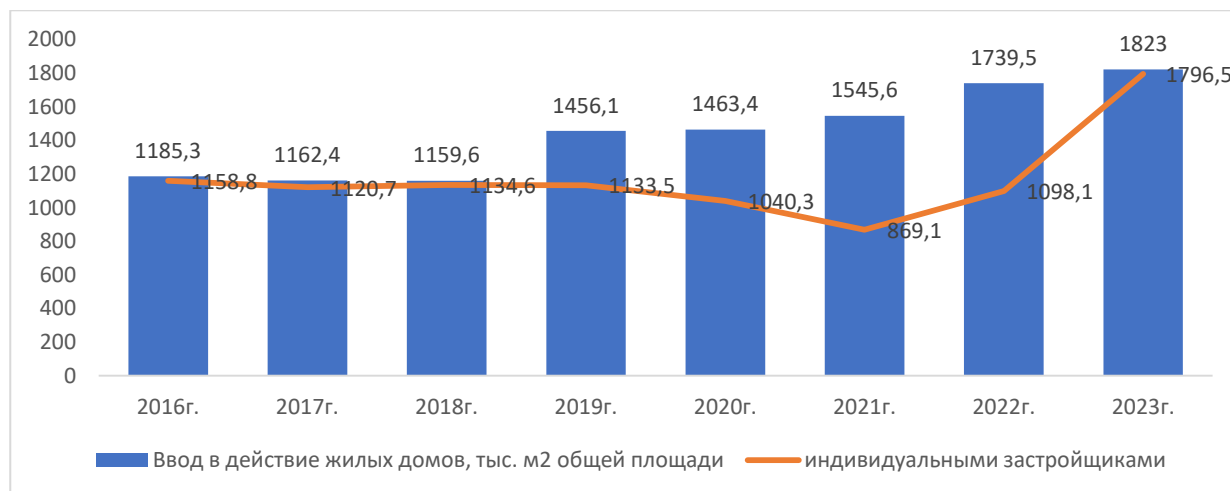


Рисунок 2 – Анализ состояния строительной отрасли Таджикистана

Из рисунка 2 видно, что общий объем введенного в эксплуатацию жилья постепенно рос с 2016 года, начиная с 1185,3 тыс. м², и достиг 1823 тыс. м² в 2023 году. Особенно заметен значительный рост после 2021 года, что свидетельствует о восстановлении и активизации строительной деятельности в последние два года.

Объем строительства, осуществленного индивидуальными застройщиками, в этот период демонстрирует более волатильную динамику. После незначительных колебаний и снижения с 1158,8 тыс. м² в 2016 году до минимального уровня в 869,1 тыс. м² в 2021 году, в 2022 и 2023 годах наблюдается резкий рост до 1796,5 тыс. м². Это может указывать на возросший интерес и возможности у частных лиц строить жилье самостоятельно, что позитивно влияет на общий рынок недвижимости [9].

Несмотря на положительную динамику ввода жилья в эксплуатацию, наблюдаемую на протяжении последних лет, стабильность строительной отрасли остаётся под влиянием ряда факторов, связанных с уровнем завершенности проектов и эффективностью использования инвестиций [6]. Для оценки устойчивости отрасли и выявления возможных рисков замедления строительства представляется целесообразным проанализировать динамику объема незавершенного строительства в Республике Таджикистан за 2018–2023 гг. (рис. 3) [9].

Анализ представленных данных (рис. 1) показывает, что объем незавершенного строительства в Республике Таджикистан в 2018–2023 гг. характеризуется выраженной нестабильностью. Наиболее высокий уровень зафиксирован в 2018 г. (120,4 %), после чего наблюдалось постепенное снижение до 100,3 % в 2021 г. Однако в 2022 г. произошёл резкий рост показателя до 135,2 %, что свидетельствует о нарастании проблем в строительном секторе и возможном увеличении числа приостановленных проектов. В 2023 г. объем незавершенного строительства вновь снизился до 99,9 %, что может быть связано с активизацией мер государственного регулирования и повышением дисциплины застройщиков.

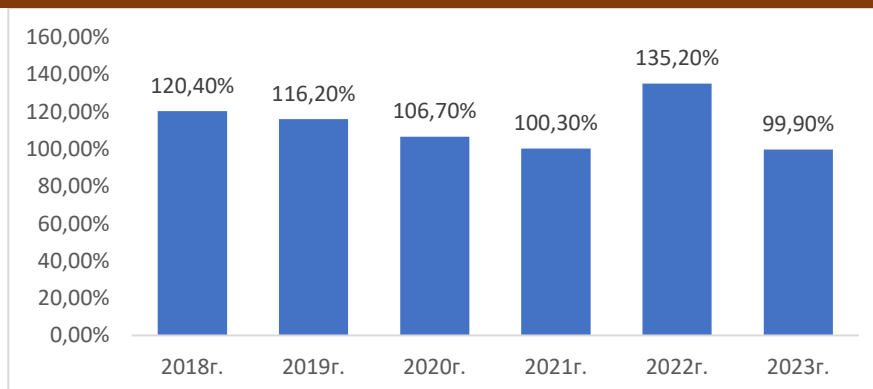


Рисунок 3 – Динамика объёма незавершённого строительства в Республике Таджикистан за 2018–2023 гг., %.

Данные тенденции подтверждают необходимость внедрения дополнительных финансовых механизмов контроля, направленных на сокращение доли замороженных объектов и повышение прозрачности движения инвестиций в жилищное строительство [7]. Для более детального понимания причин колебаний объёма незавершённого строительства целесообразно обратиться к структуре источников финансирования жилищного строительства за 2016–2023 гг. (табл. 3). Анализ распределения инвестиций между государственными, частными и банковскими средствами позволяет выявить зависимость темпов строительства от доступности финансовых ресурсов и определить факторы, способствующие росту или замедлению строительной активности.

Таблица 3 – Структуру источников финансирования жилищного строительства за 2016–2023 гг. (млн. сомони)

Показатели	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023г. к 2018г., %
По республике	13361	12517,8	11775,5	15124,9	16655,2	20699,8	154,9
в том числе:							
государственные	6468,8	6261,4	5714,3	6174,2	6713,9	7881,1	121,8
дехканские хозяйства	23,15	27,72	8,25	16,96	80,12	55,54	239,9
акционерные	384,8	370,3	248,5	443,0	248,8	1058,0	274,9
население	436,3	468,2	612,0	606,6	658,8	1080,9	247,7
ООО	1098,2	1359,0	1507,1	2566,8	3218,2	3586,4	326,6
индивидуальные предприниматели	443,1	917,3	798,5	1010,0	646,7	801,6	180,9
Таджикматлубот	4,30	1,117	-	0,94	0,42	2,6	60,5
совместные предприятия	132,9	43,6	45,2	101,5	230,4	695,9	523,6
иностраннные инвестиции	4369,4	3069,1	2841,5	4204,9	4857,6	5537,6	126,7

Источник: составлено автором на основе Статистический сборник строительства, 2024. - С.10 [9]

Данные таблицы 3 показывают, что за период с 2018 по 2023 гг. общий объём финансирования жилищного строительства в Республике Таджикистан вырос с 13361 млн сомони до 20699,8 млн сомони, что соответствует 154,9 % к уровню 2018 года. Этот рост отражает устойчивую динамику развития строительной отрасли и усиление инвестиционной активности.

Наибольшую долю в финансировании по-прежнему занимают государственные средства, которые увеличились с 6468,8 млн сомони до 7881,1 млн сомони (рост на 21,8 %), что подтверждает ключевую роль государства в поддержке жилищного строительства. Одновременно существенно возросло участие частных инвесторов. Так, вложения ООО увеличились в 3,3 раза, акционерных

обществ — в 2,7 раза, а инвестиции населения — в 2,5 раза, что свидетельствует о повышении заинтересованности бизнеса и граждан в жилищных проектах.

Примечательно, что доля индивидуальных предпринимателей выросла на 180,9 %, а совместных предприятий — в 5,2 раза, что указывает на активизацию частного и совместного инвестирования в строительный сектор. Дехканские хозяйства и Таджикматлубот демонстрируют колебания, однако их вклад остаётся относительно небольшим.

Среди источников финансирования наблюдается рост иностранных инвестиций на 26,7 %, что отражает улучшение инвестиционного климата и повышенный интерес зарубежных партнеров к строительной отрасли страны.

Таким образом, структура финансирования жилищного строительства в 2018–2023 гг. характеризуется диверсификацией источников капитала, усилением роли частного сектора и стабильной поддержкой со стороны государства. Эти тенденции создают благоприятные условия для внедрения современных финансовых инструментов, включая эскроу-счета, которые способны повысить прозрачность финансовых потоков и экономическую безопасность строительной отрасли Таджикистана.

Правовое регулирование использования эскроу-счетов

Эффективное применение эскроу-счетов в жилищном строительстве невозможно без четкой законодательной базы, обеспечивающей защиту интересов всех участников рынка. Наиболее показательным является опыт Российской Федерации, где правовые основы долевого строительства и механизм использования эскроу-счетов закреплены в Федеральном законе № 214-ФЗ «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости» от 30 декабря 2004 года [3]. В результате реформы долевого строительства 2024 года был установлен переход на проектное финансирование с использованием эскроу-счетов, при котором средства граждан размещаются в уполномоченных банках и становятся доступными застройщику только после ввода объекта в эксплуатацию [4]. Это позволило значительно сократить число обманутых дольщиков, повысить прозрачность расчетов и финансовую устойчивость строительных организаций, что напрямую влияет на экономическую безопасность отрасли.

В Республике Таджикистан регулирование долевого строительства осуществляется преимущественно через гражданско-правовые нормы (статья 53 ГК РТ) [1], тогда как уголовно-правовые механизмы противодействия мошенничеству в данной сфере остаются фрагментарными и недостаточно эффективными. Подобная ситуация создаёт условия для злоупотреблений, поскольку отдельные противоправные действия застройщиков зачастую трактуются судами как гражданско-правовые споры, что снижает уровень правовой защиты дольщиков и подрывает доверие к строительному рынку.

Исследование адъюнкта Файзуллаева Х.Х. подтверждает наличие этих рисков: в текущей системе долевого строительства участники несут значительные финансовые и юридические угрозы. Показательным является уголовное дело в отношении директора ГУП «Доступное жильё» и директора ООО «Диёрсоз», обвиняемых в мошенничестве при сборе 24,5 млн сомони у 220 дольщиков, что наглядно демонстрирует уязвимость граждан и недостаточную эффективность существующих механизмов правового контроля [10].

Также, Файзуллаев Х.Х. в своём исследовании подтверждает наличие подобных случаев мошенничества в сфере долевого строительства. В частности, он приводит пример, когда застройщик, привлекая средства граждан на строительство многоквартирного дома, не выполнил взятые обязательства и использовал полученные средства в личных целях. Руководитель ООО «Эхё» гражданин «А» получил от 81 дольщика денежные средства на возведение 36-квартирного жилого дома, однако объект так и не был сдан, а квартиры были повторно проданы третьим лицам, что привело к материальному ущербу в размере 1,6 млн долларов США [10].

Подобные случаи наглядно демонстрируют уязвимость участников долевого строительства и недостаточность существующих правовых механизмов контроля за использованием привлечённых средств. В этих условиях внедрение системы эскроу-счетов представляется эффективным инструментом повышения экономической безопасности строительной отрасли. Использование такого механизма позволило бы исключить нецелевое расходование денежных средств, обеспечить

их сохранность до завершения строительства и тем самым предотвратить возникновение мошеннических схем.

Для повышения уровня экономической безопасности строительной отрасли, защиты интересов граждан и минимизации подобных рисков необходимо совершенствовать нормативно-правовую базу. В частности, требуется внедрение специализированных уголовно-правовых норм, а также развитие финансовых инструментов контроля и страхования, включая использование эскроу-счетов, которые обеспечат прозрачность финансовых потоков и снизят вероятность мошенничества. Внедрение эскроу-счетов способно существенно перераспределить эти риски: средства участников будут надежно защищены банками до ввода объекта в эксплуатацию, а ответственность за их сохранность и целевое использование перейдет на застройщиков и кредитные учреждения. Такой подход позволит повысить экономическую безопасность строительной отрасли, снизить возможности для мошенничества и обеспечить прозрачность финансовых потоков.

Опыт Российской Федерации показывает, что успешное внедрение механизма эскроу-счетов требует участия банковского сектора, строгого государственного контроля и четкого законодательного регулирования. Для Республики Таджикистан целесообразно адаптировать данный опыт, предусматривая поэтапное внедрение системы проектного финансирования через государственные и коммерческие банки, в частности через ГСБ РТ «Амонатбанк». На первом этапе возможно реализация пилотных проектов с участием крупных застройщиков и надежных банковских институтов, что позволит протестировать механизм и обеспечить его эффективное функционирование в национальных условиях.

Необходимо также разработать нормативно-правовую базу, регулиующую порядок открытия и использования эскроу-счетов, ответственность сторон и механизмы банковского контроля. Это обеспечит прозрачность финансовых потоков, защиту прав граждан и создаст условия для формирования устойчивого и безопасного рынка жилищного строительства в Таджикистане. Уже предпринимаются первые шаги: Постановлением Правительства РТ от 23 мая 2025 года № 297 создан специальный банковский эскроу-счёт для распределения и оплаты средств в энергетическом секторе с участием Национального банка и ГСБ РТ «Амонатбанк», а также ряд других государственных органов, ответственных за финансово-экономическую и энергетическую практику страны [2]. Данный опыт свидетельствует о готовности государства использовать механизмы целевого и прозрачного контроля за денежными потоками, что может стать фундаментом для внедрения системы эскроу-счетов в строительной сфере и способствовать повышению прозрачности и экономической безопасности отрасли.

Заключение

Внедрение механизма эскроу-счетов в жилищное строительство Таджикистана может способствовать укреплению экономической безопасности отрасли. Распределение рисков между участниками рынка снижает вероятность финансовых злоупотреблений, инвесторов. повышает доверие инвесторов и стимулирует развитие банковского проектного финансирования.

Для эффективного внедрения системы эскроу-счетов разработать нормативно-правовую базу, провести пилотные проекты с участием банков и крупных застройщиков, организовать мониторинг использования средств дольщиков и стимулировать инвестиции через налоговые льготы и государственные гарантии. Применение этих мер обеспечит прозрачность финансовых потоков, снижение рисков недостроев и повышение экономической безопасности строительной отрасли.

Рецензент: Байматова М.М. - к.э.н., и.о. доцента кафедры экономики и управления в строительстве ПИПУ имени академика М.С.Осими.

Литература

1. Гражданский кодекс Республики Таджикистан от 24 декабря 2022 года № 1918 (с изменениями и дополнениями по состоянию на 14.05.2025 г.) Принят Постановлением МН МОРТ от 23 ноября 2022 года, № 915. Одобрен Постановлением ММ МОРТ от 16 декабря 2022 года, № 319.
2. Постановление Правительства Республики Таджикистан от 23 мая 2025 года «О банковском счете эскроу для распределения и оплаты финансовых средств, поступающих от продажи электроэнергии через энергосистему Республики Таджикистан».

3. Федеральный закон от 30.12.2004 N 214-ФЗ (ред. от 26.12.2024) «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025).

4. Федеральный закон от 22.07.2024 № 186-ФЗ «О строительстве жилых домов по договорам строительного подряда с использованием счетов эскроу» // Официальный интернет-портал правовой информации – URL: <http://publication.pravo.gov.ru>

5. Кобзова А.В., Васильченко Е.В. Использование эскроу-счёта при строительстве частных домов // Материалы XII Международной научно-практической онлайн-конференции «Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития», Братск изд-во БрГУ, 2025. - С. 309-315.

6. Каримова, З. М. К вопросу взаимодействия участников инвестиционного процесса строительного комплекса / З. М. Каримова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. – Т. 2, № 1(41). – С. 112-119.

7. Каримова, З. М. Ключевые аспекты управления рисками в строительном бизнесе / З. М. Каримова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 1(69). – С. 60-64. – EDN PASJH.

8. Мишланова М.Ю., Дубовая В.А. Система счетов эскроу в условиях проектного финансирования жилищного строительства // Жилищные стратегии. - 2023. - Т. 10. - №3. - С. 299-316.

9. Статистический сборник: Строительство в Республике Таджикистан 2024 // Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан. Душанбе, 2024. 66 с.

10. Файзуллаев Х. Х. Особенности уголовной ответственности за мошенничества в сфере долевого строительства в Республике Таджикистан // Вестник экономической безопасности. 2022. № 4. С. 231–234.

11. Escrow [Электронный ресурс] // Wikipedia. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Escrow> (дата обращения: 09.11.2025).

12. China should establish property presale fund to support developers, former central bank chief says [Электронный ресурс] // Investing.com. – Режим доступа: <https://www.investing.com/news/economy/china-should-establish-property-presale-fund-to-support-developers-former-central-bank-chief-says-3327919> (дата обращения: 08.11.2025).

13. Securitisation Laws and Regulations – Germany [Электронный ресурс] // ICLG.com. – Режим доступа: <https://iclg.com/practice-areas/securitisation-laws-and-regulations/germany> (дата обращения: 10.11.2025).

14. Real Estate Settlement Procedures Act (RESPA) [Электронный ресурс] // Investopedia. – Режим доступа: <https://www.investopedia.com/terms/r/real-estate-settlement-procedures-act-respa.asp> (дата обращения: 10.11.2025).

15. Law No. (8) of 2007 Concerning Escrow Accounts for Real Estate Development in the Emirate of Dubai [Электронный ресурс] // Dubai Legislation Portal. – Режим доступа: [https://dlp.dubai.gov.ae/Legislation%20Reference/2007/Law%20No.%20\(8\)%20of%202007.html](https://dlp.dubai.gov.ae/Legislation%20Reference/2007/Law%20No.%20(8)%20of%202007.html) (дата обращения: 10.11.2025).

16. Private houses will be built only using escrow accounts in Russia [Электронный ресурс] // Bashinform.ru. – Режим доступа: <https://eng.bashinform.ru/news/economy/2025-03-03/private-houses-will-be-built-only-using-escrow-accounts-in-russia-4142111> (дата обращения: 10.11.2025).

17. Бердиева, Н. Х. Роль цифровых технологий в повышении конкурентоспособности промышленности Таджикистана / Н. Х. Бердиева // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 2(70). – С. 82-88. – EDN ZUOYYN.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРИ МУАЛЛИФ - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ - INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Каримова Зарина Музафаровна	Каримова Зарина Музафаровна	Karimova Zarina Muzafarovna
Муаллими калон	Старший преподаватель	Senior Lecturer
Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотии технологӣ “МИСИС” дар ш. Душанбе	Душанбинский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Душанбе	Dushanbe Branch of National University of Science and Technology MISIS, Dushanbe
E-mail: z_karimova@mail.ru		
DOI: 0000-0003-1040-3295		

РАСЧЁТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗДАНИЯ ИЗ НЕРАЗРЕЗНЫХ АСПО В СЕЙСМИЧЕСКОМ РАЙОНЕ

О.Р. Нуманов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Армоцементно-стальные панели оболочек (АСПО) размерами в плане 3х18 м относятся к пологим оболочкам положительной гауссовой кривизны. Это такой тип покрытия, который является одним из наиболее распространенных конструкций, применяемые в промышленных и сельскохозяйственных зданиях. В статье приведён пример технико-экономический расчёт сельскохозяйственного здания размерами 18х60 м с сеткой колонн 18х12 м в сейсмическом районе Республики Таджикистан. Развитие бетона связано с усовершенствованием заводской техники и, соответственно, технологии изготовления. Благодаря использованию высокопрочного бетона и унифицированных элементов, армоцементные конструкции значительно удешевлялись. Перекрытия из армоцементных конструкций пластически выразительны. Армоцементно-стальные панели-оболочки это такие покрытия со стальными затяжками при армировании плиты двумя ткаными сетками имеют приведённую толщину бетона 4,1 см расход стали 5,4 кг/м². Они изготавливают с применением бетона повышенной плотности марки В25 и выше при расходе цемента 500—700 кг на один кубометр бетона.

Ключевые слова: неразрезная оболочка, экономическая эффективность, продолжительность строительства, приведённые затраты, расход материалов, трудоемкость, стоимость конструкций.

ҲИСОБ КАРДАНИ НИШОНДИҲАНДАҶОИ ТЕХНИКИЮ ИҚТИСОДИИ БИНОИ КИШОВАРЗӢ АЗ АСПО НОБУРИДА ДАР МИНТАҚАИ СЕЙСМИКӢ

О.Р. Нуманов

Кишрҳо-панелҳои армосементӣ-пӯлодӣ (ҚПАП) бо андозаи 3х18 м ба кишри камфарози қачии гауссии мусбат тааллуқ доранд. Ин як намуди болопӯше аст, ки аз конструкцияҳои маъмултарин дар биноҳои саноатӣ ва кишоварзӣ ба ҳисоб меравад. Дар мақола намунаи ҳисоби техникую иқтисодии бинои кишоварзӣ бо андозаи 18х60 м бо шабакаи сутунҳои 18х12 м дар ноҳияи зилзилавию Ҷумҳурии Тоҷикистон оварда шудааст. Рушди бетон бо тақмили техникаи корхона ва мувофиқан технологияи истеҳсоли алоқаманд аст. Бо истифода аз бетони баландуқувват ва унсурҳои ягона, конструкцияҳои армосементӣ ҳеле арзонтар шуданд. Болопӯши он аз конструкцияҳои армосементӣ пластикӣ ифода меёбад. Кишрҳои панелҳои пӯлодию армосементӣ чунин болопӯшҳое мебошанд, ки бо кашакҳои пӯлодӣ мебошанд, ҳангоми мустаҳкам кардани тахтасанг бо ду шабакаи ғафсии бетони овардашудаи 4,1 см мебошад, ҳарҷоти пӯлод 5,4 кг/м² мебошад. Онҳо бо истифода аз бетони зичиашон баланди тамғаи В25 ва болотар бо истеъмоли сементи 500-700 кг барои як метри мукаббӣ бетон истеҳсол мекунанд.

Калидвожаҳо: кишри нобурида, самаранокӣ иқтисодӣ, давомнокии сохтмон, ҳарҷотҳои овардашуда, ҳарҷоти маводҳо, меҳнатталабӣ, арзиши конструкцияҳо.

CALCULATION OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF AN AGRICULTURAL BUILDING FROM CONTINUOUS AFS IN A SEISMIC AREA

O.R. Numanov

Reinforced cement-steel shell panels (RCSP) with a plan size of 3x18 m belong to the gentle shells of positive Gaussian curvature. This is a type of covering that is one of the most common structures used in industrial and agricultural buildings. The article provides an example of a technical and economic calculation for an agricultural building with dimensions of 18x60 m and a column grid of 18x12 m in the seismic region of the Republic of Tajikistan. The development of concrete is associated with the improvement of factory equipment and, consequently, manufacturing technology. Thanks to the use of high-strength concrete and standardized elements, reinforced cement structures have become much more affordable. Reinforced cement structures are also known for their visually appealing design. Reinforced cement-steel shell panels are a type of reinforced concrete structure that features steel ties and two woven mesh reinforcement. The panels have a concrete thickness of 4.1 cm and a steel consumption of 5.4 kg/m². They are made using high-density concrete of class B25 and higher, with a cement consumption of 500-700 kg per cubic meter of concrete.

Keywords: continuous shell, economic efficiency, construction duration, reduced costs, material consumption, labor intensity, construction cost.

Введение

Для покрытий производственных зданий применяют в основном квадратные разрезные и неразрезные железобетонные пологие оболочки размерами в плане 18х18, 18х24, 18х30, 24х24, 24х30, 30х30 м; для общественных, спортивных и транспортных зданий и сооружений применяют от 12х18 до 20х20 м и более [1].

Для покрытий сельскохозяйственных зданий и сооружений также применяют прямоугольные плоскостные и пространственные разрезные и неразрезные железобетонные и армоцементно-стальные панели оболочки.

Армоцементно-стальные панели оболочек (АСПО) размерами в плане 3х18 м наиболее эффективны с точки зрения статической работы и имеют меньшую вес по сравнению плоскостных конструкций покрытия, что легче воспринимают сейсмическую нагрузку [2,5].

Для покрытий производственных и сельскохозяйственных зданий наиболее часто применяют сетку колонн 12х6, 12х12, 18х6, 18х12, 24х6, 24х12 м.

АСПО бывают отдельно стоящими – одноволновыми и многоволновыми. Многоволновые оболочки могут быть неразрезными и разрезными. В неразрезных оболочках приконтурные зоны соседних конструкций жестко связываются между собой и с диафрагмы.

Свойства АСПО

Коррозийная стойкость. Из-за небольшой толщины слоя и применения проволоки тонкого диаметра в изготовлении, коррозионная стойкость значительно ниже, чем у железобетонных конструкций. В условиях нормальной влажности при хорошей гидроизоляции допустимая величина защитного слоя для сеток 4 мм, для стержневой (проволочной) арматуры 8 мм, а в местах утолщений ребер 10 мм.

Показатель прочности. Армоцементные конструкции выший показатель на 10-15 % нежели конструкции из песчаного бетона. Напряжения в проволоке при разрушении достигают 2500—2700 кг/см². Примерная величина предела прочности армоцемента при растяжении — около 100 кг/см². Предел прочности на изгиб и внецентренное сжатие и растяжение определяется работой сжатой и растянутой зон.

Ползучесть. Армоцементные конструкции имеют значительно большую ползучесть, чем обычные железобетонные. Исследования показали, что для сжатых образцов при нагрузках 0,25-0,3 разрушающих деформации через год в 3 раза превышали кратковременные. Относительно большая деформируемость отмечается у образцов с дисперсным армированием.

Морозостойкость. Армоцементные конструкции имеют чрезвычайно высокую морозостойкость, которая превышает 100 циклов. Из-за этого они имеют такую же высокую водонепроницаемость.

Огнестойкость. Армоцементные конструкции имеют огнестойкость ниже, нежели железобетонные, однако за счет своих первичных характеристик более используемые [4].

Технико-экономический расчёт

В связи с вышеуказанных преимуществ АСПО, производим технико-экономический расчёт сельскохозяйственного здания размерами 18х60 м с сеткой колонн 18х12 м в сейсмическом районе Республики Таджикистан.

Для технико- экономического расчёта выбираем два наиболее часто применяемые примеры покрытия.

Вариант 1. Плоскостное покрытие из железобетонных балок длиной 18 м и панелей 3х6 м.

Вариант 2. Пространственное покрытие из АСПО размерами в плане 18х3 м по железобетонным балкам серии 1.462.1 -18.1-100-40 пролётом 6 м.

Определяем сметную себестоимость

$$K_1 = 1,15 \quad K_2 = 0,92$$

Используя результаты из табл. 1 определяем сметную себестоимость:

- для варианта 1

$$C_1 = 1630,5 \cdot 1,15 \cdot 0,92 = 1725 \text{ сомони};$$

- для варианта 2

$$C_2 = 1464 \cdot 1,15 \cdot 0,92 = 1548,9 \text{ сомони}.$$

Таблица 1 – Расход материалов, трудоёмкость и себестоимость вариантов

№ п/ п	Наименование конструкций	Кол- во эле- мен- тов	Расход бетона, м³		Расход стали, кг		Трудо-ёмкость, чел/дн		Себестоимость, сомони	
			На 1 эл-т	Все-го	На 1 эл-т	Все-го	На 1 эл-т	Все-го	На 1 эл- т	Всего
Вариант 1										
1.	Плита 3х6 м	120	0,93	111,6	72,7	87,24	1	120	10,25	1230
2.	Железобетонная балка, 18 м	11	3,64	40	330,3	3633	3,8	41,8	36,4	400,5
3.	Колонна	22	-	-	63	1386	-	-	-	-
	Итого:	153		151,6		13743		161,8		1630,5
Вариант 2										
1.	АСПО 18х3 м	20	1,77	35,4	794	15880	4,86	97,2	64,8	1296
2.	Железобетонная балка, 6 м	20	0,6	12	115,3	2306	1,4	28	8,4	168
3.	Колонна	22	-	-	36	792	-	-	-	-
	Итого:	62		47,4		18978		125,2		1464

Определяем продолжительности монтажа каркаса здания

$$t_1 = \frac{m}{N \cdot n \cdot k} = \frac{161,8}{1 \cdot 7 \cdot 2} = 11,557 \text{ дней или}$$

$$t_1 = \frac{11,557}{260} = 0,04445 \text{ год.}$$

$$t_2 = \frac{m}{N \cdot n \cdot k} = \frac{125,2}{1 \cdot 7 \cdot 2} = 8,943 \text{ дней или}$$

$$t_2 = \frac{8,943}{260} = 0,03440 \text{ год.}$$

Определяем величину основных производственных фондов и оборотных средств

Максимальный вес конструкции по вариантам равен:

Вариант 1: железобетонная балка – 9,1 тн;

Вариант 2. Армоцементно-стальная панель оболочка- 5,5 тн.

Выбираем кран на пневмоколёсном ходу К – 106. Стоимость основных фондов крана равен $13730 \cdot 0,12 = 1648$ сомони.

Определяем оборотные средства по вариантам:

$$\Phi_{об1} = 1,06 \cdot \frac{C_1}{t_1} = 1,06 \cdot \frac{1725}{0,04445} = 41136 \text{ сомони.}$$

$$\Phi_{об2} = 1,06 \cdot \frac{C_2}{t_2} = 1,06 \cdot \frac{1548,9}{0,03440} = 47728 \text{ сомони.}$$

Определение эксплуатационных затрат.

Вариант 1:

$$C_{год1} = 1,06 \cdot \frac{P_1 + P_2}{100} \cdot C_1 = 1,06 \cdot \frac{2,0 + 0,7}{100} \cdot 1725 = 49,4 \text{ сомони}$$

Вариант 2:

$$C_{год2} = 1,06 \cdot \frac{P_1 + P_2}{100} \cdot C_{22} = 1,06 \cdot \frac{2,0 + 0,7}{100} \cdot 1548,9 = 44,33 \text{ сомони}$$

Определение экономического эффекта от сокращения продолжительности строительства.

Объём здания $60 \times 18 \times 5 = 5400 \text{ м}^3$.

Стоимость строительно-монтажных работ (СМР) на 1 м³ здания составляет – 1,08 сомони, с учётом поправочных коэффициентов.

Общая стоимость строительно-монтажных работ с учётом коэффициентов K_1 и K_2 равен $5400 \cdot 7 \cdot 1,15 \cdot 0,92 \cdot 1,6 = 63988$ сомони.

Капитальное вложение по 1 варианту $63988 - (1548,9 - 1725) \times 1,06 = 63801$ сомони.

По нормам продолжительности строительства (СН – 440 - 79) [3] здание по 2 варианту должно быть построено за 30 дней или за 1 месяц, или за 0,08333 года. Продолжительность строительства для 1 варианта: $0,08333 - (0,04445 - 0,03440) = 0,07328$ года.

Экономический эффект от сокращения продолжительности строительства равен:

$$\Xi = \frac{1}{2} \cdot 0,12 \cdot (63988 \cdot 0,08333 - 63801 \cdot 0,07328) = 39,42 \text{ сомони.}$$

Определяем приведённые затраты 1 вариант:

$$П_1 = 1725 + 0,12 \cdot (1648 + 41136) \cdot 0,04445 + \frac{1}{0,08} + 49,4 - 39,42 =$$

$$= 1726 + 228,2 + 12,5 - 39,42 = 1975,7 \text{ сомони.}$$

$$П_2 = 1549 + 0,12 \cdot (1648 + 47728) \cdot 0,03440 + \frac{1}{0,08} + 44,33 - 36,69 =$$

$$= 1809,7 - 36,69 = 1773 \text{ сомони.}$$

$$П_1 = 1975,7 \text{ сомони.}$$

$$П_2 = 1773 \text{ сомони.}$$

Таблица 2 – Показатели экономической эффективности по вариантам

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Варианты		Разница	Экономия, %
			1	2		
1.	По сметной стоимости	сомони	14373	13966	407	2,75
2.	По трудоёмкости	чел./дн.	161,8	125,2	36,6	22,6
3.	По продолжительности	дн.	11,557	8,943	2,614	22,6
4.	По расходу: а) бетона	м ³ /м ²	0,14037	0,04389	0,09648	68,7
	б) стали	кг	12,725	17,572	4,8472	38
5.	По приведёнными затратами	сомони	1975,7	1773	202,7	18,8

Экономия на 1 м² здания составляет:

- по сметной стоимости

$$\frac{176}{1080} = 0,163 \text{ сомони.}$$

- по приведённым затратам

$$\frac{202,7}{1080} = 0,188 \text{ сомони.}$$

Выводы

1. Как показывают расчеты, армоцементно-стальные панели оболочки 3x18 м являются экономически эффективными по сравнению с плоскостными конструкциями.

2. Экономический эффект от применения панелей-оболочек составляет по сметной стоимости 0,163 сомони/м², по приведённым затратам составляет 0,188 сомони/м².

Рецензент: Абдуллоев М.М. – к.т.н., доцент, советник ГУП НУМ “СИА”.

Литература

1. Нуманов О.Р. Эффективность применения многоволновых отдельно стоящих и неразрезных пологих оболочек / Нуманов О.Р., Мирзоева Н.Ш. // Известия Национальной академии наук Таджикистана. - 2022. - №3 (268). С113-116.

2. Исхаков Я.Ш. Исследование и участие в проектировании сельскохозяйственного здания с покрытием из АСПО размерами 3x18 м в сейсмическом районе /Исхаков Я.Ш., Нуманов О.Р. //Отчёт о научно исследовательской работе, ТПИ.-1986.-№ гос. регистрации 01850028288 Душанбе 1986, с 38.

3. СН – 440 – 79. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений /Изд. офиц. Утв. Гос. ком. СССР по делам стр-ва и Гос. план. ком. СССР 29.12.79. - Москва : Стройиздат, 1981. – с. 477.

4. Байков В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс / Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Учеб. для вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. – Москва; Стройиздат, 1991.- с.767.

5. Мартемьянов А.И. Проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмических районах / Мартемьянов А.И.// Москва; Стройиздат, 1985.- с.253.

6. Давлатзода, Қ. Қ. Таҷрибаи хориҷӣ оид ба ташаккул ва рушди кластерҳои агросаноатӣ дар минтақа / Қ. Қ. Давлатзода, Ҷ. Б. Халифзода // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – №. 3(55). – Р. 88-93. – EDN BCBOLL.

7. Халилов, И. Х. Состояние и перспективы развития горной и металлургической промышленности Республики Таджикистан / И. Х. Халилов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. – Т. 2, № 1(41). – С. 144-154. – EDN XQZSYP.

8. Бобоходжиев, Р. Х. Эколого-экономическая подготовка специалистов как признак их профессионализма / Р. Х. Бобоходжиев, О. О. Сафарова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2016. – Т. 2, № 2(34). – С. 39-43. – EDN YPSUTD.

9. Амонова, Д. С. Исследование коммерческой и производственной деятельности проектных организаций в строительной отрасли Республики Таджикистан / Д. С. Амонова, М. М. Байматова, М. А. Шаропова // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 4(56). – С. 90-97. – EDN LSMOAP.

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

TJ	RU	EN
Нуманов Олим Раҳимович	Нуманов Олим Рахимович	Numanov Olim Rahimovich
н.и.т, дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences, associate Professor
Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
	E-mail: nor5@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 IMRAD⁶ 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:

⁶ Данный термин составлен из первых букв английских слов: Introduction (Введение), Materials and Methods (Материалы и методы), Results (Результаты) Acknowledgements and Discussion (Обсуждение). Это самый распространенный стиль оформления научных статей, в том числе для журналов Scopus и Web of Science.

Ному насаб, ФИО, Name

Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность,

Title⁷

Ташкилот, Организация, Organization

e-mail

ORCID⁸ 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 докладах на конференциях и семинарах.

⁷ Title can be chosen from: master student, Phd candidate, assistant professor, senior lecture, associate professor, full professor⁸ 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 подрисуночных 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 ⁹	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 ¹⁰ , организации ¹¹ , заголовки и реферат ¹² и ключевые слова ¹³ 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).

⁹ 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/>

¹⁰ 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.

¹¹ Название организации в английском переводе должно соответствовать официальному, указанному на сайте организации. Непереводимые на английский язык наименования организаций даются в транслитерированном варианте.

¹² 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.

¹³ 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. Рачабовҳо, 10^А

Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых, 10^А

Ба чоп 27.03.2026 имзо шуд. Ба матбаа 31.03.2026 супорида шуд.

Чопи офсетӣ. Коғазӣ офсет. Андозаи 60x84 1/8

Адади нашр 50 нусха.

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