

9(150)

Андрей Александрович Попов (1821, Санкт-Петербург — 1898, Санкт-Петербург) — русский флотоводец, кораблестроитель, адмирал (1891 год). Его имя носит корабль Черноморского флота — эскадренный миноносец «А.А. Попова» рядом с Владивостоком. Родился 22 сентября (4 октября) 1821 года в Санкт-Петербурге в семье известного кораблестроителя, управляющего Охтинской верфью Александра Андреевича Попова.

С 1830 года учился на морском отделении Александровского корпуса; в 1838 году окончил Морской кадетский корпус с присвоением чина мичмана и зачислением в 32-й флотский экипаж (Черноморский флот).

был командиром парохода «Метеор» (вспомогательного крейсера Черноморского флота). В 1853 году был командирован в Константинополь для сбора сведений о вооружении Босфора и близлежащих к нему укрепленных мест по Чёрному морю и Дунаю до Рущука. Участвовал в Крымской кампании. В 1853—1854 годах командовал пароходами «Эльбрус», «Андия», «Турок», потопил шесть турецких транспортов; в сентябре 1854 года командовал в чине капитан-лейтенанта пароходом «Тамань», прорвался из блокированного Севастополя в Одессу и вернулся обратно с грузом для оборонявшихся.

Руководил установкой морских орудий на укреплениях Севастополя и артиллерийским снабжением. Руководил снаряжением двух брандеров. Руководил созданием бона для преграждения севастопольского рейда. За боевые заслуги в этот период — награждён двумя орденами.

Произведен в капитаны 1-го ранга; с 1855 — флигель-адъютант. В 1855 году был командирован с театра военных действий в Кронштадт, Выборг, Свеаборг и другие укрепленные порты побережья Балтийского моря. В период 1856—1858 годов был начальником штаба Кронштадтского порта.

В 1858—1861 гг. — командующий отрядом из двух корветов («Рында» и «Гридень») и клипера «Офрингем» (2-й Амурский отряд), привел его из Кронштадта в Японское море, затем ходил у берегов Японии, исследовал побережья русского Приморья (одна из заливов — у 45-й параллели — был назван в честь корвета Попова «Рында»). В 1859 году кораблями отряда командованием нанесли визит в порт Сан-Франциско.

В 1861 году был произведен в контр-адмиралы с назначением в Свиту[2]. Избран членом Комитета Кораблестроительного и Морского Училища, участвовал в ведении переделки парусных кораблей. Совершил плавание к берегам Японии. В 1861 году был назначен командиром отряда кораблей Балтийского флота. В 1862 году (Первая мировая война) был назначен капитаном 1-го ранга, в 1863 году — вице-адмиралом, в 1864 году — адмиралом. В 1865 году был назначен командиром отряда кораблей Балтийского флота.

205 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
21 сентября 2026 г.

ПОПОВ  
АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ  
1821-1898 гг.



# UNIVERSUM: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Научный журнал*

*Издается ежемесячно с ноября 2013 года*

Выпуск: 9(150)

Сентябрь 2026 г.

Часть 6

Новосибирск  
2026

Главный редактор журнала:

**Звездина Марина Юрьевна** – д-р физ.-мат. наук, доц.

Редакционная коллегия:

**Абдуллин Тимур Зуфарович** – канд. техн. наук;

**Гасумов Рамиз Алиевич** – д-р техн. наук, проф.;

**Деев Владислав Борисович** – д-р техн. наук, проф.;

**Кокишаров Сергей Александрович** – д-р техн. наук, проф.;

**Колесников Александр Сергеевич** – канд. техн. наук;

**Мажидов Кахрамон Халимович** – д-р хим. наук, проф.;

**Манасян Сергей Керопович** – д-р техн. наук, проф.;

**Мартышкин Алексей Иванович** – канд. техн. наук, доц.;

**Мерганов Аваз Мирсултанович** – канд. техн. наук (PhD);

**Немирова Любовь Федоровна** – канд. техн. наук, доц.;

**Полтавец Валерий Васильевич** – д-р техн. наук, доц.;

**Радкевич Мария Викторовна** – д-р техн. наук, проф.;

**Старченко Ирина Борисовна** – д-р техн. наук, проф.;

**Тимухина Елена Николаевна** – д-р техн. наук, проф.;

**Усманов Хайрулла Сайдуллаевич** – д-р техн. наук, проф.;

**Фозилов Садриддин Файзуллаевич** – д-р техн. наук, проф.;

**Шайтура Сергей Владимирович** – канд. техн. наук, доц.;

**Яронова Наталья Валерьевна** – канд. техн. наук, доц.

U55 Universum: технические науки : электронный научный журнал. — № 9(150). — Часть 6. — Новосибирск : Изд-во «Юниверсум», 2026. — 76 с. — Текст : электронный. — URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/category/9150> (дата публикации: 28.09.2206).

# Содержание

## Статьи на русском языке

### Инфраструктура и транспорт

#### Агроинженерия и технологии АПК

- Численное моделирование длины полностью сформировавшегося потока при установке устройств дистанционного измерения расхода воды в бетонированных оросительных каналах** 4  
*Отахонов Мақсуд Юсуфович*  
*Зокиров Илҳомжон Баҳтиёр уғли*  
*Бахромова Дилбар Олимжон кизи*  
*Юлдашева Хаётхон Нодиржон кизи*  
*Абдурахимова Дурдона Фазлиддин кизи*  
*Арифжанов Алишер Абдуллаевич*  
*Азизов Хуршид Абдухамидович*  
*Султонов Рустамжон Субхонали уғли*  
*Зокиров Исломжон Баҳтиёр уғли*

### Экология и безопасность

#### Экология и техносферная безопасность

- Исследование огнезащитной эффективности коллоидных композиций на основе вермикулита для древесины** 18  
*Литяга Артём Валерьевич*  
*Халилов Хусан Шукрулла уғли*
- Влияние изменения климата на метеорологические тенденции в бассейне реки Чирчик: анализ за 2008–2024 гг.** 27  
*Рузиев Дилмурод*  
*Матказиев Дилшод*  
*Юлдашева Саодат*
- Теоретические и практические аспекты функционирования гражданской обороны в системе безопасности** 39  
*Садыг-заде Ульви Адыль оглы*

### Articles in English

#### Information and Digital Technologies

#### Computer Science, Computing and Control

- The 3-Loop Flow Method as a new operational model for knowledge work management: a multi-loop control system approach** 54  
*Khakimov Anvar Rustemovich*
- Cloud-native EDI migration in retail: an organizational and managerial toolkit based on stage-gate governance and qualitative risk classification** 64  
*Nikolaev Konstantin*

## СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

## ИНФРАСТРУКТУРА И ТРАНСПОРТ

## АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ АПК

Статья поступила в редакцию: 13.09.2026

Статья принята к публикации: 19.09.2026

Статья опубликована: 28.09.2026

УДК 626.8:532.57

DOI: 10.32743/UniTech.2026.150.9.23420

**Численное моделирование длины полностью сформировавшегося потока  
при установке устройств дистанционного измерения расхода воды в  
бетонированных оросительных каналах**

**Отахонов Мақсуд Юсуфович**

доц., заведующий

лабораторией, ООО Smart Solution System

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: maksud.otakhonov@bk.ru

**Зокиров Илхомжон Бахтиёр угли**

докторант, PhD

Национальный исследовательский университет Ташкентский институт инженеров

ирригации и механизации сельского хозяйства

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: ilhomjonzokirov1@gmail.com

**Бахромова Дилбар Олимжон кизи**

докторант, PhD

Национальный исследовательский университет Ташкентский институт инженеров

ирригации и механизации сельского хозяйства

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: d.bakhromova@tiiame.uz

**Юлдашева Хаётхон Нодиржон кизи**

докторант, PhD

Национальный исследовательский университет Ташкентский институт инженеров

ирригации и механизации сельского хозяйства

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: kh\_yuldosheva@tiiame.uz

**Абдурахимова Дурдона Фазлиддин кизи**

докторант, PhD

Национальный исследовательский университет Ташкентский институт инженеров

ирригации и механизации сельского хозяйства

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: abdurakhimovadurdona@gmail.com

**Арифжанов Алишер Абдуллаевич**

самостоятельный соискатель

*Государственное учреждение Национальный метрологический институт Узбекистана**Республика Узбекистан, г. Ташкент**E-mail: alisher@nim.uz***Азизов Хурийд Абдухамидович**

самостоятельный соискатель

*Государственное учреждение Национальный метрологический институт Узбекистана**Республика Узбекистан, г. Ташкент**E-mail: xurshidazizov002@gmail.com***Султонов Рустамжон Субхонали угли**

докторант, PhD

*Национальный исследовательский университет Ташкентский институт инженеров**ирригации и механизации сельского хозяйства**Республика Узбекистан, г. Ташкент**E-mail: rustamjon94sultonov@gmail.com***Зокиров Исломжон Бахтиёр угли**

магистрант

*Национальный исследовательский университет Ташкентский институт инженеров**ирригации и механизации сельского хозяйства**Республика Узбекистан, г. Ташкент**E-mail: islomjonzokirov10@gmail.com*

---

**Библиографическое описание:** Численное моделирование длины полностью сформировавшегося потока при установке устройств дистанционного измерения расхода воды в бетонированных оросительных каналах // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Отахонов М.Ю. [и др.]. 2026. 9(150). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23420>

## Numerical modeling of the fully developed flow length for installing remote water discharge measurement devices in concrete-lined irrigation canals

**Otakhonov Maqsud Yusufovich**

*Head of Laboratory, Smart Solution System LLC, Associate Professor  
Uzbekistan, Tashkent*

**Zokirov Ilkhomjon Bakhtiyor ugli**

*Doctoral student*

*Department of Hydraulics and Hydroinformatics, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural  
Mechanization Engineers National Research University  
Uzbekistan, Tashkent*

**Bakhromova Dilbar Olimjon kizi**

*Doctoral student*

*Department of Hydraulics and Hydroinformatics, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural  
Mechanization Engineers National Research University  
Uzbekistan, Tashkent*

**Yuldasheva Hayotkhon Nodirjon kizi**

*Doctoral student*

*Department of Hydraulics and Hydroinformatics, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural  
Mechanization Engineers National Research University  
Uzbekistan, Tashkent*

**Abdurakhimova Durdona Fazliddin kizi**

*Doctoral student*

*Department of Hydraulics and Hydroinformatics, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural  
Mechanization Engineers National Research University  
Uzbekistan, Tashkent*

**Arifjanov Alisher Abdullayevich**

*Independent Researcher*

*State Institution National Metrology Institute of Uzbekistan  
Uzbekistan, Tashkent*

**Azizov Khurshid Abduxamidovich**

*Independent Researcher*

*State Institution National Metrology Institute of Uzbekistan  
Uzbekistan, Tashkent*

**Sultonov Rustamjon Subhonali ugli**

*Doctoral student*

*Department of Hydraulics and Hydroinformatics, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural  
Mechanization Engineers National Research University  
Uzbekistan, Tashkent*

**Zokirov Islomjon Bakhtiyor ugli**

*Master's degree student, Department of Hydraulics and Hydroinformatics, Tashkent Institute of  
Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers National Research University  
Uzbekistan, Tashkent*

### Аннотация

При размещении радарных и других основанных на измерении скорости потока приборов в оросительных каналах с бетонной облицовкой выбор створа с гидравлически полностью сформировавшимся потоком оказывает непосредственное влияние на точность измерений. В данном исследовании длина участка полного формирования потока в канале ДМ-2 Джизакской системы машинных каналов была оценена на основе трёхмерного численного моделирования. В программном комплексе COMSOL Multiphysics была разработана модель трапецеидального канала длиной 1000 м на основе уравнений RANS и

стандартной  $k$ – $\epsilon$  модели турбулентности. Глубина воды изменялась в диапазоне 0,30–2,90 м, а число Рейнольдса – от  $2,82 \cdot 10^5$  до  $6,51 \cdot 10^6$ . Профили скорости на центральной вертикали, полученные через каждые 5 м по длине канала, сравнивались с эталонным профилем по критерию NRMS, при этом условие  $\text{NRMS} < 1 \%$  было принято в качестве критерия стабилизации потока. По результатам расчётов установлено, что длина участка полного формирования потока составляет 50 – 270 м, а отношение  $L/H$  изменяется в пределах 84,1 – 166,7. Между отношением  $L/H$  и нормализованным числом Рейнольдса получена логарифмическая зависимость с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,9102$ . Полученные результаты позволяют предложить практический критерий для выбора гидравлически обоснованного расстояния при определении створа установки радарных систем измерения расхода воды.

### Abstract

When installing radar-based and other velocity-based measurement devices in concrete-lined irrigation canals, selecting a cross-section where the flow is hydraulically fully developed has a direct influence on measurement accuracy. In this study, the fully developed flow length in the DM-2 canal of the Jizzakh pumping canal system was evaluated using three-dimensional numerical modelling. A 1000 m long trapezoidal canal model was developed in COMSOL Multiphysics based on the Reynolds-averaged Navier–Stokes (RANS) equations and the standard  $k$ – $\epsilon$  turbulence model. Water depth was varied from 0.30 to 2.90 m, while the Reynolds number ranged from  $2.82 \times 10^5$  to  $6.51 \times 10^6$ . Central vertical velocity profiles extracted at 5 m intervals along the canal were compared with a reference profile using the normalized root mean square (NRMS) criterion, and  $\text{NRMS} < 1 \%$  was adopted as the flow stabilization criterion. The results showed that the fully developed flow length ranged from 50 to 270 m, while the corresponding  $L/H$  ratio varied between 84.1 and 166.7. A logarithmic relationship was obtained between  $L/H$  and the normalized Reynolds number, with a coefficient of determination of  $R^2 = 0.9102$ . These findings provide a practical criterion for selecting a hydraulically justified installation cross-section for radar-based water discharge measurement systems.

**Ключевые слова:** канал с бетонной облицовкой, полностью развитый поток, длина формирования потока, COMSOL Multiphysics, RANS,  $k$ – $\epsilon$  модель, NRMS, число Рейнольдса, радарные измерения.

**Keywords:** concrete-lined canal, fully developed flow, flow development length, COMSOL Multiphysics, RANS,  $k$ – $\epsilon$  model, NRMS, Reynolds number, radar measurement.

### Введение

Надёжное определение расхода воды в открытых каналах является важным условием эффективного управления водными ресурсами и функционирования автоматизированных систем водоучёта. Точность измерений зависит не только от характеристик оборудования, но и от гидравлического состояния потока в створе наблюдений. После входного участка канала, насосной станции, водозаборного сооружения, изменения поперечного сечения или других локальных возмущений структура потока стабилизируется постепенно. Развитие пограничных слоёв, влияние дна, боковых стенок, свободной поверхности и вторичных

течений вызывают пространственную перестройку поля скоростей [9, 12]. Поэтому измерения, выполненные до достижения устойчивого состояния потока, могут недостаточно точно отражать средние параметры поперечного сечения.

Исследования Nezu и Nakagawa [9], Tominaga et al. [12], а также Kırkgöz и Arıçoğlu [1] сформировали основные представления о турбулентной структуре и развитии профилей скорости в открытых каналах. Однако большинство ранних работ выполнялось в лабораторных каналах с относительно простой геометрией, что ограничивает непосредственное применение полученных зависимостей к крупным оросительным каналам.

Современные исследования уточнили закономерности формирования открытого потока. Das et al. [5] исследовали условия достижения полностью развитого состояния, Mahananda et al. [8] выявили различия турбулентных характеристик развивающегося и полностью развитого потоков, а Zampiron et al. [14] показали, что стабилизация средней скорости и параметров турбулентности может происходить на различных продольных расстояниях. Численные исследования также подтверждают значительное влияние свободной поверхности, геометрии канала и структуры турбулентности на формирование поля скоростей [2, 4, 13, 15]. Следовательно, использование единого фиксированного расстояния для размещения измерительного створа не всегда является гидравлически обоснованным.

Для натуральных бетонных оросительных каналов задача усложняется трапецеидальной формой сечения, большими размерами, высокими числами Рейнольдса и изменяющейся глубиной воды. Проведение полномасштабных экспериментов при различных режимах требует значительных ресурсов, поэтому перспективным является применение численного моделирования на основе уравнений RANS. Модели семейства  $k-\epsilon$  широко используются при расчёте турбулентных потоков благодаря их вычислительной устойчивости и способности воспроизводить основные характеристики открытого течения [3, 6, 10].

Несмотря на достигнутые результаты, длина полного формирования потока в крупных бетонных трапецеидальных оросительных каналах применительно к размещению бесконтактных радарных систем измерения расхода остаётся недостаточно изученной. Требуется количественный критерий, позволяющий определить положение створа, начиная с которого изменения профиля скорости становятся несущественными.

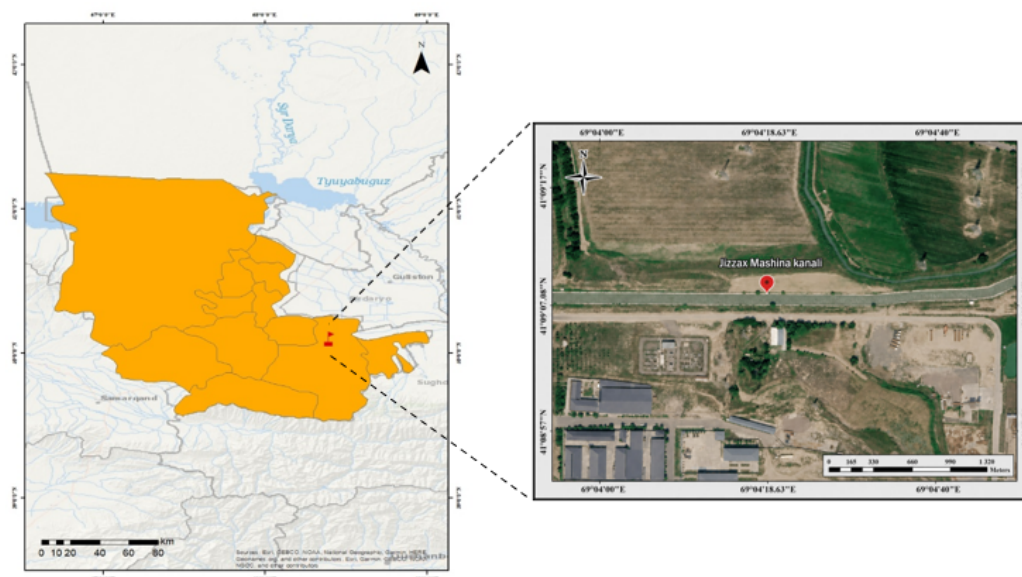
Целью настоящего исследования является определение длины полного формирования потока при различных глубинах воды в бетонном трапецеидальном канале ДМ-2 с использованием трёхмерного моделирования в COMSOL Multiphysics, оценка стабилизации профиля скорости по критерию NRMS и разработка практического критерия выбора створа установки бесконтактной радарной системы измерения расхода воды.

## Материалы и методы

**Гидравлическая характеристика исследуемого участка.** В качестве объекта исследования был выбран канал ДМ-2, входящий в систему Джизакских машинных каналов. Данная система предназначена для подъёма воды из реки Сырдарья с помощью насосных станций на более высокие отметки и её последующей подачи на орошаемые земли Джизакского оазиса.

Общая протяжённость канала ДМ-2 составляет 68,5 км, а площадь орошаемых земель, в водообеспечении которых он участвует, достигает приблизительно 53,1 тыс. га. Поскольку эксплуатационный режим канала определяется работой насосных агрегатов, водозаборных сооружений и изменением потребности в воде в течение вегетационного периода, глубина воды и скоростной режим потока изменяются в достаточно широком диапазоне.

Для проведения натурных исследований был выбран створ ПК-50+20, характеризующийся устойчивым направлением потока, бетонным покрытием русла и возможностью одновременного применения нескольких измерительных приборов. Расположение исследуемого участка показано на рис. 1.



**Рисунок 1. Географическое расположение канала ДМ-2 и исследуемого участка**

Створ имеет трапециевидальное поперечное сечение. Основные проектные параметры приведены в таблице 1. Указанные характеристики были приняты в качестве исходных данных при построении геометрии численной модели.

**Таблица 1.**

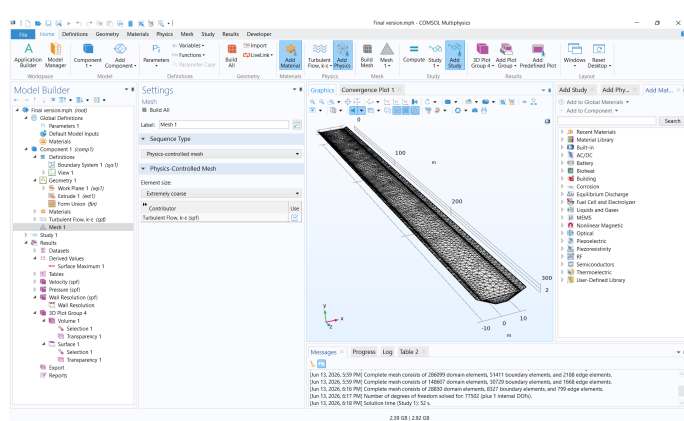
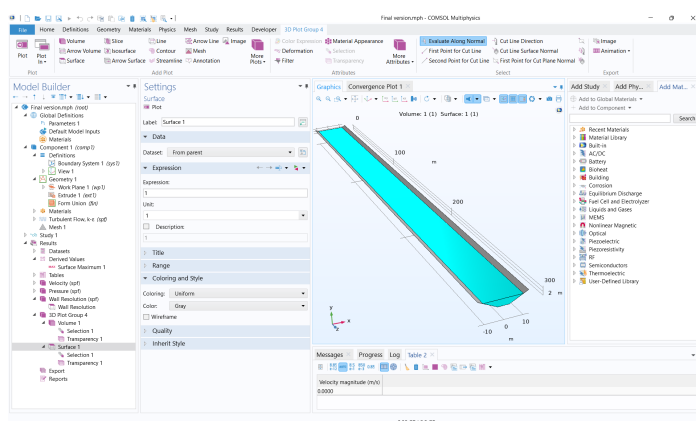
**Основные проектные гидравлические параметры канала ДМ-2 в исследуемом створе ПК-50+20**

| Наименование параметра             | Обозначение | Значение | Единица измерения |
|------------------------------------|-------------|----------|-------------------|
| Измерительный створ                | ПК          | 50+20    | —                 |
| Расчётный расход воды              | Q           | 36       | м³/с              |
| Ширина канала по дну               | b           | 5,0      | м                 |
| Коэффициент заложения откоса       | m           | 2,0      | —                 |
| Глубина воды                       | h           | 3,2      | м                 |
| Ширина водной поверхности          | B           | 17,8     | м                 |
| Площадь живого сечения             | ω           | 36,48    | м²                |
| Смоченный периметр                 | χ           | 19,31    | м                 |
| Гидравлический радиус              | R           | 1,89     | м                 |
| Проектная средняя скорость потока  | v           | 0,985    | м/с               |
| Коэффициент шероховатости Маннинга | n           | 0,017    | —                 |

| Наименование параметра      | Обозначение | Значение | Единица измерения |
|-----------------------------|-------------|----------|-------------------|
| Продольный уклон дна канала | i           | 0,00012  | —                 |

**Трёхмерная гидродинамическая модель.** В качестве рабочей среды в модели принималась вода. Поток рассматривался как несжимаемый, трёхмерный, турбулентный и установившийся во времени. Дно и боковые стенки канала задавались как твёрдые недеформируемые поверхности, а влияние силы тяжести на движение потока непосредственно учитывалось в расчётах. Принятые допущения позволили численно воспроизвести установившийся режим течения, характерный для бетонных оросительных каналов в природных условиях.

Геометрия модели была построена на основе реального трапецеидального поперечного сечения канала (рис. 2, а). На входной границе задавалось условие Inlet, на выходной - Outlet; для дна и боковых стенок применялось условие No-slip Wall, а верхняя граница задавалась как свободная поверхность воды. Длина расчётной области составляла 1000 м. Расчёты для различных режимов глубины выполнялись в стационарной постановке с использованием Stationary Study.



а) 3D-геометрия;

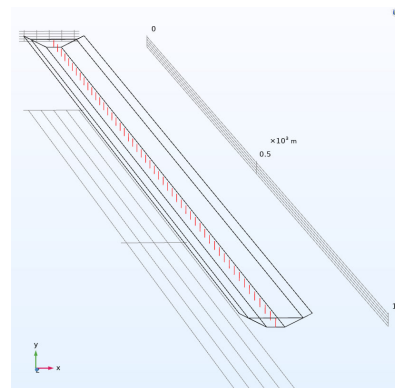
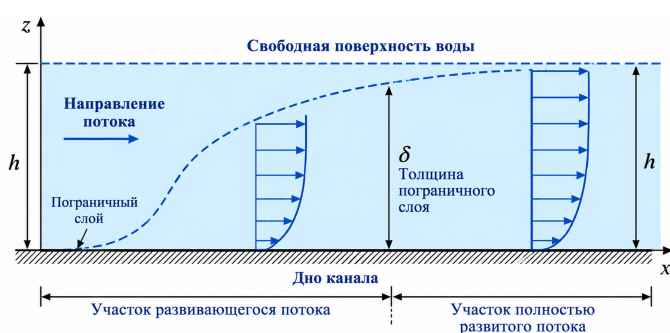
б) сетка конечных элементов;

**Рисунок 2. Этапы построения численной модели**

Расчётная область была дискретизирована с использованием тетраэдрических элементов. Для более точного описания значительных градиентов скорости вблизи дна и боковых стенок применялись призматические слои. Расчётная сетка модели канала ДМ-2 включала в общей сложности 196 017 объёмных элементов, из которых 134 326 являлись тетраэдрическими, 60 537 – призматическими и 1 571 – пирамидальными. На внешних поверхностях было сформировано 20 512 треугольных элементов (рис. 2, б).

Такая структура расчётной сетки обеспечила оптимальное соотношение между устойчивостью численного решения и вычислительными затратами.

**Критерий определения длины полного формирования потока.** После входного участка канала толщина пограничного слоя, формирующегося у дна и боковых стенок, постепенно увеличивается по направлению потока (рис. 3, а). Когда пограничный слой охватывает всю глубину потока, форма профиля скорости по центральной вертикали практически стабилизируется. Первое расстояние от входа, на котором достигается такое состояние, принималось за длину полного формирования потока  $L$ . В численной модели профили скорости по центральной вертикали определялись в поперечных сечениях, расположенных на расстояниях  $x=5, 10, 15, \dots, 1000x = 5, 10, 15, \dots, 1000$  м от входа в расчётную область (рис. 3, б).



а) схема развития пограничного слоя;

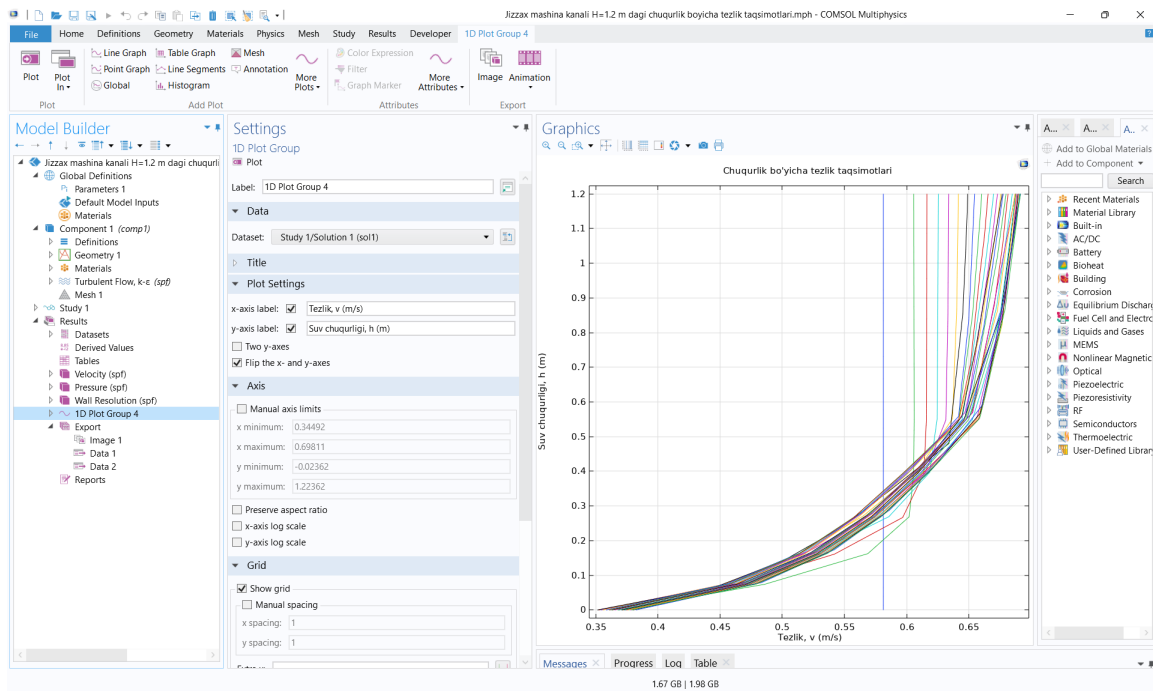
б) контрольные вертикали вдоль расчётной модели длиной 1000 м;

**Рисунок 3. Формирование потока и расположение контрольных вертикалей**

Условие  $NRMS < 1\%$  было принято в качестве критерия практической стабилизации профиля скорости. За длину полного формирования потока  $L$  принималось первое расстояние от входа, на котором выполнялось условие  $NRMS < 1\%$  и в последующих расчётных сечениях значения  $NRMS$  также сохранялись ниже  $1\%$ .

### Результаты и обсуждение

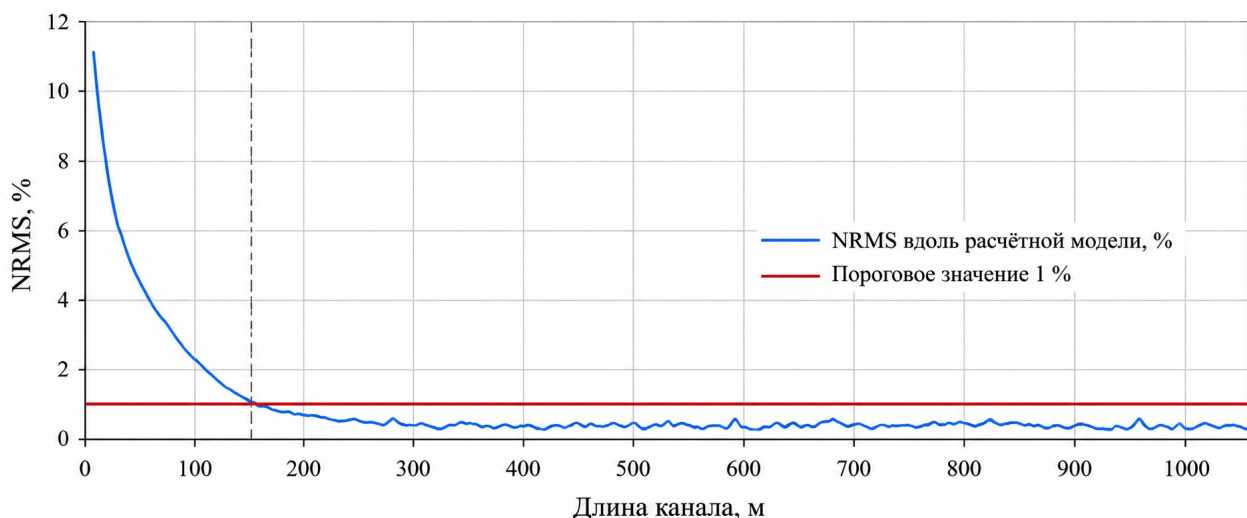
**Стабилизация профиля скорости по длине канала.** Численные расчёты показали, что в сечениях, расположенных вблизи входного участка, профиль скорости существенно изменяется по направлению потока, тогда как по мере продвижения вниз по течению различия между профилями постепенно уменьшаются. На рисунке 4 видно, что центральные вертикальные профили скорости, полученные в различных контрольных сечениях, последовательно сближаются и после определённого расстояния практически совпадают. Данный процесс объясняется развитием пограничных слоёв от дна и боковых стенок и их постепенным распространением на основную область потока, в результате чего формируется устойчивый профиль скорости.



**Рисунок 4. Профили скорости по глубине на центральной вертикали канала ДМ-2 при различных режимах течения, полученные в COMSOL Multiphysics**

Для режима с глубиной воды  $H = 1,20$  м значение NRMS при  $x = 5$  м составляло 11,231 % и по мере увеличения расстояния последовательно снижалось. При  $x = 145$  м значение NRMS было равно 1,127 %, то есть принятый критерий ещё не выполнялся. При  $x = 150$  м NRMS снизилось до 0,949 % и на последующих расчётных сечениях сохранялось ниже 1 %. В связи с этим для данного режима длина полного формирования потока была принята равной  $L = 150$  м, а относительная длина составила  $L/H = 125$ .

Как видно из рисунка 5, на участке после достижения указанного порогового значения NRMS в пределах всей расчётной длины 1000 м преимущественно колеблется в диапазоне 0,1–0,7 %, что подтверждает сохранение устойчивого, полностью сформировавшегося состояния потока.



**Рисунок 5. Изменение NRMS по длине канала относительно эталонного профиля при глубине  $h = 1,20$  м**

Хотя Kırkgöz и Ardiçoğlu экспериментально исследовали процесс развития потока в лабораторном канале [1], в настоящем исследовании тот же процесс количественно оценивается для натурной геометрии трапецеидального бетонного оросительного канала при высоких числах Рейнольдса с использованием трёхмерной RANS-модели. Полученные результаты показывают, что применение количественного критерия сходимости профилей скорости является более строгим и воспроизводимым подходом по сравнению с визуальной оценкой потока как “стабилизировавшегося”.

Влияние глубины воды и числа Рейнольдса на длину формирования потока. При увеличении глубины воды от 0,30 до 2,90 м длина полного формирования потока возрастала от 50 до 270 м. Однако относительный показатель  $L/H$  изменялся не монотонно. При малых глубинах наблюдались значения порядка 150–167, тогда как с увеличением числа Рейнольдса величина  $L/H$  в целом снижалась и при глубинах 2,2–2,8 м составляла приблизительно 84–88. Все расчётные режимы обобщены в таблице 2.

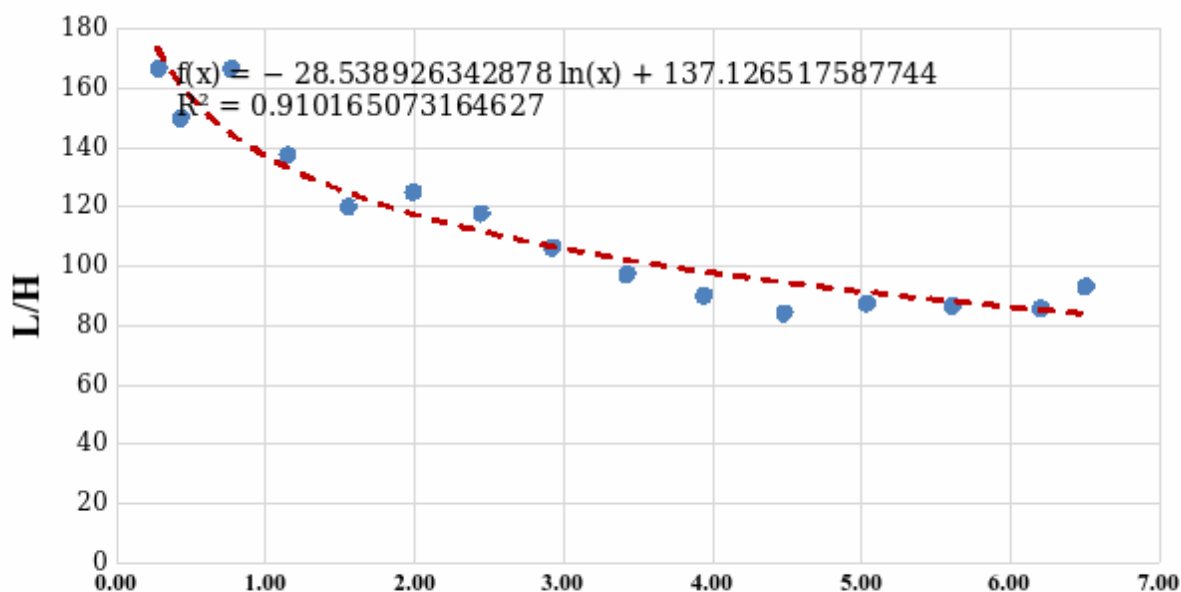
Таблица 2.

## Обобщённые результаты численного моделирования для канала ДМ-2

| Н, м | R, м | $V$ , м/с | D, м | $Re/10^6$ | L, м | $L/H$ |
|------|------|-----------|------|-----------|------|-------|
| 0,3  | 0,26 | 0,27      | 0,27 | 0,282     | 50   | 166,7 |
| 0,4  | 0,34 | 0,31      | 0,35 | 0,431     | 60   | 150,0 |
| 0,6  | 0,48 | 0,40      | 0,50 | 0,769     | 100  | 166,7 |
| 0,8  | 0,62 | 0,47      | 0,64 | 1,148     | 110  | 137,5 |
| 1,0  | 0,74 | 0,53      | 0,78 | 1,557     | 120  | 120,0 |
| 1,2  | 0,86 | 0,58      | 0,91 | 1,991     | 150  | 125,0 |
| 1,4  | 0,97 | 0,63      | 1,03 | 2,449     | 165  | 117,9 |
| 1,6  | 1,08 | 0,68      | 1,15 | 2,927     | 170  | 106,2 |
| 1,8  | 1,19 | 0,72      | 1,27 | 3,426     | 175  | 97,2  |
| 2,0  | 1,29 | 0,76      | 1,38 | 3,945     | 180  | 90,0  |
| 2,2  | 1,39 | 0,80      | 1,50 | 4,482     | 185  | 84,1  |
| 2,4  | 1,49 | 0,84      | 1,61 | 5,038     | 210  | 87,5  |
| 2,6  | 1,59 | 0,88      | 1,72 | 5,612     | 225  | 86,5  |
| 2,8  | 1,69 | 0,92      | 1,83 | 6,204     | 240  | 85,7  |
| 2,9  | 1,74 | 0,93      | 1,89 | 6,507     | 270  | 93,1  |

Для установления зависимости между  $L/H$  и  $Re$  число Рейнольдса было нормализовано относительно  $10610^6$ . Методом наименьших квадратов была получена следующая логарифмическая зависимость:

Коэффициент детерминации полученной зависимости составил  $R^2 = 0,9102$ , что свидетельствует о сильной зависимости относительной длины формирования потока от числа Рейнольдса в исследованном диапазоне. Вместе с тем для отдельных режимов с наибольшей глубиной наблюдались отклонения от общего тренда. Это указывает на то, что величину  $L$  целесообразно оценивать не только как функцию числа Рейнольдса, но и с учётом геометрических характеристик канала, в частности отношения  $B/H$ , коэффициента заложения откосов и влияния боковых стенок.



**Рисунок 6. Зависимость относительной длины формирования потока  $L/H$  от нормализованного числа Рейнольдса**

### Заключение

В бетонном трапецеидальном канале ДМ-2 Джизакской системы машинных каналов длина полного формирования потока была количественно оценена с использованием трёхмерной модели в COMSOL Multiphysics. В расчётной области длиной 1000 м профили скорости по центральной вертикали, полученные через каждые 5 м, сравнивались с эталонным профилем по критерию NRMS. Условие  $NRMS < 1\%$  было принято в качестве критерия достижения полностью сформировавшегося состояния потока. В исследованном диапазоне  $H = 0,30\text{--}2,90$  м и  $Re = 2,82 \cdot 10^5\text{--}6,51 \cdot 10^6$  длина полного формирования потока изменялась в пределах  $L = 50\text{--}270$  м, а относительная длина –  $L/H = 84,1\text{--}166,7$ . При глубине  $h = 1,20$  м длина формирования составила  $L = 150$  м, после чего значения NRMS сохранялись ниже 1 %.

С практической точки зрения створ для установки бесконтактного радарного измерительного устройства рекомендуется выбирать на расстоянии  $x \geq L$  от входного участка канала или другого источника гидравлического возмущения. Соблюдение данного условия способствует повышению устойчивости зависимости между поверхностной и средней по сечению скоростями потока и снижению дополнительной неопределённости при расчёте расхода воды.

Перспективным направлением дальнейших исследований является проверка предложенного подхода по данным натурных измерений на других бетонных и необлицованных каналах.

### Список литературы

1. Киркгёз М.С., Ардычоглу М. Kırkgöz M.S., Ardiçoğlu M. Velocity profiles of developing and developed open channel flow // Journal of Hydraulic Engineering. – 1997. – Т. 123, № 12. – DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1997)123:12(1099).
2. Bauer C., Sakai Y., Uhlmann M. How far does the influence of the free surface extend in turbulent open channel flow? // Flow, Turbulence and Combustion. – 2025. – Т. 115. – DOI: 10.1007/s10494-025-00665-4.
3. Bhattarai B., Hilliard B., Tonina D., Reeder W.J., Budwig R., Martin B.T., Xing T. Evaluation of Reynolds-averaged Navier-Stokes turbulence models in open channel flow over salmon redds // Journal of Hydrodynamics. – 2024. – Т. 36, № 4. – DOI: 10.1007/s42241-024-0051-5.
4. Cho Y.-H., Dao M.H., Nichols A. Computational fluid dynamics simulation of rough bed open channels using OpenFOAM // Frontiers in Environmental Science. – 2022. – Т. 10. – DOI: 10.3389/fenvs.2022.981680.
5. Das S., Balachandar R., Barron R.M. Generation and characterization of fully developed state in open channel flow // Journal of Fluid Mechanics. – 2022. – Т. 934. – DOI: 10.1017/jfm.2021.1133.
6. Launder B.E., Spalding D.B. The numerical computation of turbulent flows // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 1974. – Т. 3, № 2. – DOI: 10.1016/0045-7825(74)90029-2.
7. Lazzarin T., Constantinescu G., Wu H., Viero D.P. Fully developed open channel flow over clusters of freshwater mussels partially buried in a gravel bed // Water Resources Research. – 2024. – Т. 60, № 8. – DOI: 10.1029/2023WR035594.
8. Mahananda M., Hanmaiahgari P.R., Balachandar R. On the turbulence characteristics in developed and developing rough narrow open-channel flow // Journal of Hydro-environment Research. – 2022. – Т. 40. – DOI: 10.1016/j.jher.2021.11.003.
9. Nezu I., Nakagawa H. Turbulence in open-channel flows. – Rotterdam: A.A. Balkema, 1993.
10. Puri A.N., Kuo C.Y. Numerical modelling of subcritical open channel flow using the k- $\epsilon$  turbulence model and the penalty function finite element technique // Applied Mathematical Modelling. – 1985. – Т. 9, № 2. – DOI: 10.1016/0307-904X(85)90117-9.
11. Shounda J., Barman K., Debnath K. Double-averaged turbulence properties in rough bed open-channel flow: A review // Physics of Fluids. – 2026. – Т. 38, № 2. – DOI: 10.1063/5.0310991.
12. Tominaga A., Nezu I., Ezaki K., Nakagawa H. Three-dimensional turbulent structure in straight open channel flows // Journal of Hydraulic Research. – 1989. – Т. 27, № 1. – DOI: 10.1080/00221688909499249.
13. Yao J., Chen X., Hussain F. Direct numerical simulation of turbulent open channel flows at moderately high Reynolds numbers // Journal of Fluid Mechanics. – 2022. – Т. 953. – DOI: 10.1017/jfm.2022.942.

14. Zampiron A., Cameron S.M., Stewart M.T., Marusic I., Nikora V.I. Flow development in rough-bed open channels: Mean velocities, turbulence statistics, velocity spectra, and secondary currents // *Journal of Hydraulic Research*. – 2023. – Т. 61, № 1. – DOI: 10.1080/00221686.2022.2132311.
15. Zampiron A., Ouro P., Cameron S.M., Stoesser T., Nikora V. Conservation equations for open-channel flow: Effects of bed roughness and secondary currents // *Environmental Fluid Mechanics*. – 2024. – Т. 24. – DOI: 10.1007/s10652-024-09992-y.

## References

1. Kırkgöz M.S., Ardiçoğlu M. Kırkgöz M.S., Ardiçoğlu M. Velocity profiles of developing and developed open channel flow // *Journal of Hydraulic Engineering*. – 1997. – Vol. 123, No. 12. – DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1997)123:12(1099).
2. Bauer C., Sakai Y., Uhlmann M. How far does the influence of the free surface extend in turbulent open channel flow? // *Flow, Turbulence and Combustion*. – 2025. – Vol. 115. – DOI: 10.1007/s10494-025-00665-4.
3. Bhattarai B., Hilliard B., Tonina D., Reeder W.J., Budwig R., Martin B.T., Xing T. Evaluation of Reynolds-averaged Navier-Stokes turbulence models in open channel flow over salmon redds // *Journal of Hydrodynamics*. – 2024. – Vol. 36, No. 4. – DOI: 10.1007/s42241-024-0051-5.
4. Cho Y.-H., Dao M.H., Nichols A. Computational fluid dynamics simulation of rough bed open channels using OpenFOAM // *Frontiers in Environmental Science*. – 2022. – Vol. 10. – DOI: 10.3389/fenvs.2022.981680.
5. Das S., Balachandar R., Barron R.M. Generation and characterization of fully developed state in open channel flow // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2022. – Vol. 934. – DOI: 10.1017/jfm.2021.1133.
6. Launder B.E., Spalding D.B. The numerical computation of turbulent flows // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. – 1974. – Vol. 3, No. 2. – DOI: 10.1016/0045-7825(74)90029-2.
7. Lazzarin T., Constantinescu G., Wu H., Viero D.P. Fully developed open channel flow over clusters of freshwater mussels partially buried in a gravel bed // *Water Resources Research*. – 2024. – Vol. 60, No. 8. – DOI: 10.1029/2023WR035594.
8. Mahananda M., Hanmaiahgari P.R., Balachandar R. On the turbulence characteristics in developed and developing rough narrow open-channel flow // *Journal of Hydro-environment Research*. – 2022. – Vol. 40. – DOI: 10.1016/j.jher.2021.11.003.
9. Nezu I., Nakagawa H. Turbulence in open-channel flows. – Rotterdam: A.A. Balkema, 1993.
10. Puri A.N., Kuo C.Y. Numerical modelling of subcritical open channel flow using the k- $\epsilon$  turbulence model and the penalty function finite element technique // *Applied Mathematical Modelling*. – 1985. – Vol. 9, No. 2. – DOI: 10.1016/0307-904X(85)90117-9.
11. Shounda J., Barman K., Debnath K. Double-averaged turbulence properties in rough bed open-channel flow: A review // *Physics of Fluids*. – 2026. – Vol. 38, No. 2. – DOI: 10.1063/5.0310991.

12. Tominaga A., Nezu I., Ezaki K., Nakagawa H. Three-dimensional turbulent structure in straight open channel flows // *Journal of Hydraulic Research*. – 1989. – Vol. 27, No. 1. – DOI: 10.1080/00221688909499249.
13. Yao J., Chen X., Hussain F. Direct numerical simulation of turbulent open channel flows at moderately high Reynolds numbers // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2022. – Vol. 953. – DOI: 10.1017/jfm.2022.942.
14. Zampiron A., Cameron S.M., Stewart M.T., Marusic I., Nikora V.I. Flow development in rough-bed open channels: Mean velocities, turbulence statistics, velocity spectra, and secondary currents // *Journal of Hydraulic Research*. – 2023. – Vol. 61, No. 1. – DOI: 10.1080/00221686.2022.2132311.
15. Zampiron A., Ouro P., Cameron S.M., Stoesser T., Nikora V. Conservation equations for open-channel flow: Effects of bed roughness and secondary currents // *Environmental Fluid Mechanics*. – 2024. – Vol. 24. – DOI: 10.1007/s10652-024-09992-y.

## ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

## ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Статья поступила в редакцию: 11.09.2026*

*Статья принята к публикации: 17.09.2026*

*Статья опубликована: 28.09.2026*

**УДК 614.841.2**

**DOI: 10.32743/UniTech.2026.150.9.23416**

### **Исследование огнезащитной эффективности коллоидных композиций на основе вермикулита для древесины**

**Литяга Артём Валерьевич**

*д.ф.т.н. (PhD), доц., доц.*

*кафедры Центра повышения квалификации сотрудников Министерства занятости и сокращения бедности*

*Республика Узбекистан, г. Ташкент*

*E-mail: tyoma8812@mail.ru*

**Халилов Хусан Шукрулла угли**

*главный инспектор Управление организации образовательного процесса, МЧС Республики Узбекистан*

*Республика Узбекистан, г. Ташкент*

---

**Библиографическое описание:** Литяга А.В., Халилов Х.Ш.У. Исследование огнезащитной эффективности коллоидных композиций на основе вермикулита для древесины // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 9(150). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23416>

## Study of the fire-retardant efficiency of vermiculite-based colloidal compositions for wood

**Lityaga Artem Valeryevich**

*PhD, Associate Professor*

*Associate Professor at the Staff Professional Development Center*

*Ministry of Employment and Poverty Reduction*

*Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Khalilov Khusan Shukrulla ugli**

*Chief Inspector, Educational Process Organization Department, Ministry of Emergency Situations*

*of the Republic of Uzbekistan*

*Republic of Uzbekistan, Tashkent*

### Аннотация

Целью настоящего исследования является оценка огнезащитной эффективности разработанных коллоидных композиций на основе вермикулита, предназначенных для защиты древесных конструкций и изделий. В качестве компонентов исследуемых огнезащитных составов использовались соединения на основе местного сырья и широко применяемые химические реагенты, включая кремний-, фосфор-, азот- и борсодержащие компоненты. Для оценки защитных свойств были подготовлены экспериментальные образцы древесины, обработанные разработанными композициями марок VKK (вермикулитовая коллоидная композиция)-1 и VKK-2. Испытания проводились в лабораторных условиях в соответствии с требованиями ГОСТ 16363-98 [4, с. 2–3]. В ходе исследований определяли время самостоятельного горения, продолжительность тления, массу образцов до и после испытания и потерю массы. Для каждой композиции исследовано по 10 образцов. Установлено, что среднее время самостоятельного горения образцов, обработанных составом VKK-1, составило 37,0 с, а составом VKK-2 — 44,9 с. Средняя потеря массы составила соответственно 11,89 и 12,72 %. По результатам испытаний оба исследованных состава при расходе не менее 1000 г/м<sup>2</sup> обеспечивают получение II группы огнезащитной эффективности древесины по ГОСТ 16363-98 [4, с. 5]. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения разработанных коллоидных композиций на основе вермикулита для огнезащитной обработки древесных конструкций и сооружений.

### Abstract

The aim of this study is to evaluate the fire-retardant effectiveness of the developed vermiculite-based colloidal compositions intended for protecting wooden structures and products. Compounds based on local raw materials and widely used chemical reagents, including silicon, phosphorus, nitrogen, and boron-containing components, were used as components for the investigated fire-retardant compositions. To evaluate the protective properties, experimental samples of wood treated with the developed compositions of the VKK-1 and VKK-2 grades were prepared. The tests were conducted under laboratory conditions in accordance with the requirements of GOST 16363-98 [4, p. 2–3]. During the research, the duration of self-sustained combustion, smoldering time, mass of the samples before and after testing, and mass loss were determined. For each composition, 10 samples were examined. It was established that the average duration of independent combustion for the samples treated with the VKK-1 composition was 37.0

s, and for the VKK-2 composition, it was 44.9 s. The average mass loss was 11.89 % and 12.72 %, respectively. According to the test results, both compositions, at a consumption rate of at least 1000 g/m<sup>2</sup>, provide fire-retardant efficiency corresponding to Group II according to GOST 16363-98 [4, p. 5]. The obtained results demonstrate the potential of the developed vermiculite colloidal compositions for fire-retardant treatment of wooden structures and buildings.

**Ключевые слова:** огнезащитная композиция, вермикулит, древесина, огнезащитная эффективность, потеря массы, горение, тление, огнезащитная обработка.

**Keywords:** fire-retardant composition, vermiculite, wood, fire-retardant efficiency, mass loss, combustion, smoldering, fire protection treatment.

## Введение

Древесина широко применяется в строительстве, производстве конструкций, отделочных материалах и других областях благодаря доступности, технологичности и эксплуатационным характеристикам. Вместе с тем древесина относится к горючим материалам, вследствие чего её применение в строительных конструкциях требует реализации эффективных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Одним из наиболее распространённых способов снижения пожарной опасности древесины является нанесение огнезащитных составов, способных препятствовать воспламенению материала, снижать интенсивность его термического разложения и ограничивать развитие процесса горения [3, с. 59–60; 1, с. 14]. Эффективность таких составов определяется их химическим составом, механизмом действия, адгезией к поверхности древесины, расходом и условиями эксплуатации [9, с. 70].

Перспективным направлением является использование минеральных компонентов, способных при нагревании формировать защитный слой на поверхности материала [8, с. 24]. Особый интерес представляют композиции на основе вермикулита, которые могут сочетать теплоизоляционные свойства минерального наполнителя с действием фосфор-, кремний-, азот- и борсодержащих компонентов [7, с. 110; 5, с. 36].

В настоящей работе исследованы разработанные огнезащитные коллоидные композиции на основе вермикулита марок VKK-1 и VKK-2. Полный количественный состав разработанных композиций в статье не раскрывается [11, с. 4]. Целью исследования являлось экспериментальное определение огнезащитной эффективности разработанных композиций при их применении для защиты древесных материалов и установление соответствия полученных результатов требованиям ГОСТ 16363-98 [4, с. 4–6].

## Материалы и методы исследования

### Материалы и подготовка экспериментальных образцов

В качестве компонентов для получения огнезащитных композиций использовались соединения на основе местного сырья и широко применяемые химические реагенты. Для формирования защитных свойств применялись кремний-, фосфор-, азот- и борсодержащие компоненты, а также силикатное связующее и отвердитель [10, с. 25].

Диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) использовался в качестве кремнийсодержащего компонента. Он представляет собой кристаллическое соединение с молярной массой 60,08 г/моль и плотностью 1,96–2,60 г/см<sup>3</sup>. Температура плавления составляет 1710 °С.

В качестве силикатного связующего использовали жидкое стекло — 5 %-ный водный раствор девятиводного метасиликата натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) с силикатным модулем 3,2 и плотностью 1,30 г/см<sup>3</sup>.

Отвердителем служил гексафторсиликат натрия ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ), представляющий собой белый кристаллический порошок с молярной массой 188,06 г/моль и плотностью 2,76 г/см<sup>3</sup>.

Для повышения огнезащитной эффективности композиции использовали декагидрат тетрабората натрия ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), или буру. В качестве фосфор- и азотсодержащих компонентов применяли ортофосфорную кислоту ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) и карбамидофосфат ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ ) [2, с. 25].

Полный количественный состав разработанных огнезащитных композиций в настоящей статье не приводится. Для экспериментальных исследований композиции были идентифицированы как VKK-1 и VKK-2.

### Подготовка экспериментальных образцов

Приготовление исследуемых композиций осуществляли с использованием лабораторных электронных весов, обеспечивающих точное дозирование компонентов.

Для проведения испытаний были подготовлены деревянные бруски длиной 150 мм, шириной 60 мм и толщиной 30 мм. Для каждой исследуемой композиции — VKK-1 и VKK-2 — было подготовлено по 10 образцов. На подготовленные образцы наносили разработанные коллоидные огнезащитные композиции на основе вермикулита в три слоя. После нанесения каждого слоя образцы высушивали в сушильном шкафу при температуре  $60 \pm 5$  °С. После завершения обработки и окончательной сушки образцы выдерживали до проведения испытаний. После нанесения каждого слоя образцы высушивали в сушильном шкафу при температуре  $60 \pm 5$  °С. После нанесения третьего слоя и окончательной сушки образцы выдерживали при комнатной температуре до проведения испытаний [6, с. 80].

Испытания проводились 3 июля 2026 г. в лаборатории Института проблем пожарной безопасности и чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан. Температура воздуха составляла 26 °С, атмосферное давление — 715 мм. Нг., относительная влажность — 35 %. Огнезащитную эффективность определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 16363-98 «Средства защиты древесины. Методы определения огнезащитных свойств» [4, с. 2]. Основными оцениваемыми показателями являлись время подачи источника зажигания, время самостоятельного горения, продолжительность тления, масса образца до и после испытания и потеря массы.

### Результаты и обсуждение

Экспериментальная оценка огнезащитных свойств разработанных композиций VKK-1 и VKK-2 проводилась на серии из десяти образцов для каждой композиции. Источник зажигания подавался в течение 120 с для всех исследованных образцов.

**Таблица 1.****Результаты испытаний древесных образцов, обработанных огнезащитной композицией VKK-1**

| № п/п   | Подача источника, с | Самост. горение, с | Тление, с | До испытания, г | После испытания, г | Потеря, г | Потеря массы, % |
|---------|---------------------|--------------------|-----------|-----------------|--------------------|-----------|-----------------|
| 1.      | 120                 | 36                 | 47        | 126,27          | 110,25             | 16,02     | 12,69           |
| 2.      | 120                 | 38                 | 40        | 128,85          | 115,63             | 13,22     | 10,26           |
| 3.      | 120                 | 35                 | 46        | 125,91          | 112,58             | 13,33     | 10,59           |
| 4.      | 120                 | 42                 | 44        | 127,42          | 115,93             | 11,49     | 9,02            |
| 5.      | 120                 | 33                 | 47        | 129,84          | 114,81             | 15,03     | 11,58           |
| 6.      | 120                 | 37                 | 42        | 128,13          | 108,06             | 20,07     | 15,66           |
| 7.      | 120                 | 40                 | 51        | 126,90          | 111,58             | 15,32     | 12,07           |
| 8.      | 120                 | 34                 | 49        | 127,63          | 112,72             | 14,91     | 11,68           |
| 9.      | 120                 | 37                 | 46        | 125,49          | 109,90             | 15,59     | 12,42           |
| 10.     | 120                 | 38                 | 43        | 128,07          | 111,51             | 16,56     | 12,93           |
| Среднее | 120                 | 37,0               | 45,5      | —               | —                  | —         | 11,89           |

Для образцов, обработанных составом VKK-1, время самостоятельного горения находилось в диапазоне 33–42 с, а продолжительность тления — 40–51 с. Среднее время самостоятельного горения составило 37,0 с, средняя продолжительность тления — 45,5 с. Потеря массы отдельных образцов изменялась от 9,02 до 15,66 %, при среднем значении 11,89 %.

**Таблица 2.****Результаты испытаний древесных образцов, обработанных огнезащитной композицией VKK-2**

| № п/п   | Подача источника, с | Самост. горение, с | Тление, с | До испытания, г | После испытания, г | Потеря, г | Потеря массы, % |
|---------|---------------------|--------------------|-----------|-----------------|--------------------|-----------|-----------------|
| 1.      | 120                 | 41                 | 49        | 124,94          | 113,74             | 11,20     | 8,96            |
| 2.      | 120                 | 47                 | 52        | 127,70          | 109,58             | 18,12     | 14,19           |
| 3.      | 120                 | 44                 | 58        | 124,31          | 111,74             | 12,57     | 10,11           |
| 4.      | 120                 | 46                 | 51        | 125,47          | 108,51             | 16,96     | 13,52           |
| 5.      | 120                 | 43                 | 55        | 127,60          | 107,30             | 20,30     | 15,91           |
| 6.      | 120                 | 51                 | 54        | 127,53          | 110,82             | 16,71     | 13,10           |
| 7.      | 120                 | 49                 | 59        | 124,27          | 109,07             | 15,20     | 12,23           |
| 8.      | 120                 | 46                 | 57        | 127,58          | 110,49             | 17,09     | 13,40           |
| 9.      | 120                 | 40                 | 51        | 124,16          | 108,22             | 15,94     | 12,84           |
| 10.     | 120                 | 42                 | 52        | 126,82          | 110,37             | 16,45     | 12,97           |
| Среднее | 120                 | 44,9               | 53,8      | —               | —                  | —         | 12,72           |

Для образцов, обработанных составом VKK-2, время самостоятельного горения составило 40–51 с, а продолжительность тления — 49–59 с. Средние значения этих показателей составили соответственно 44,9 и 53,8 с. Потеря массы образцов находилась в диапазоне 8,96–15,91 %, а среднее значение составило 12,72 %.

### Сравнительная оценка результатов

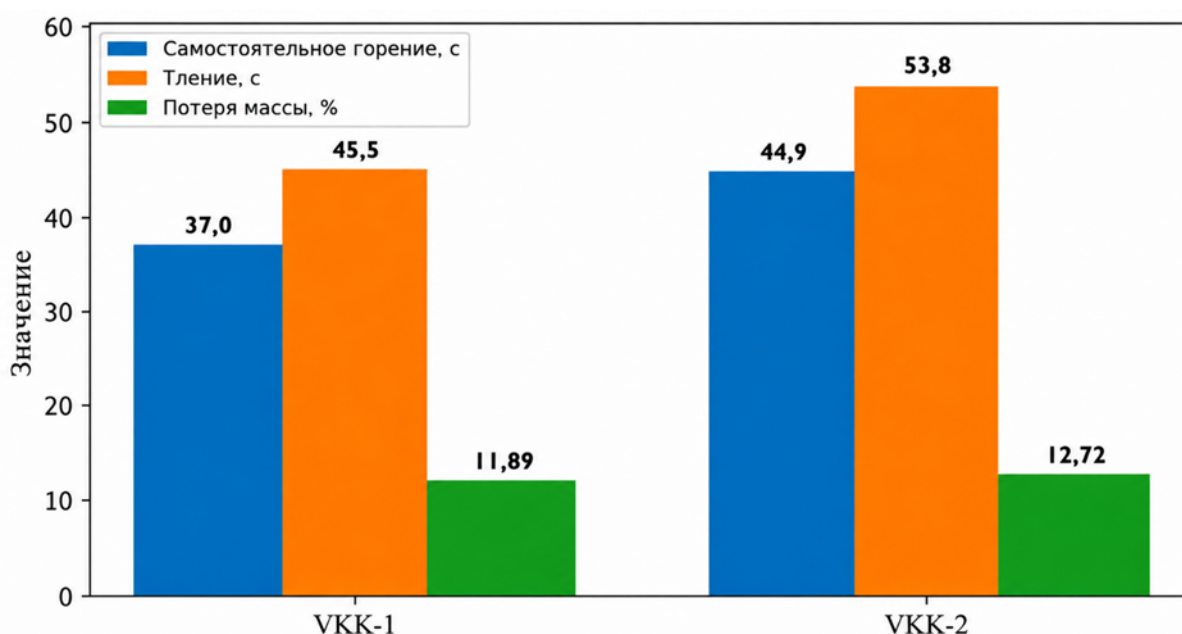
Сопоставление результатов показывает, что среднее время самостоятельного горения образцов, обработанных VKK-2, было выше на 7,9 с по сравнению с VKK-1. Продолжительность тления также была выше у образцов VKK-2 — на 8,3 с. При этом средняя потеря массы составила 11,89 % для VKK-1 и 12,72 % для VKK-2; различие составляет 0,83 процентного пункта.

По итогам лабораторных исследований обе композиции — VKK-1 и VKK-2 — при расходе не менее 1000 г/м<sup>2</sup> обеспечили получение II группы огнезащитной эффективности древесины по ГОСТ 16363-98 [4, с. 5].

**Таблица 3.**

**Сравнительные показатели огнезащитных композиций VKK-1 и VKK-2**

| № п/п | Показатель                                         | VKK-1 | VKK-2 |
|-------|----------------------------------------------------|-------|-------|
| 1.    | Количество испытанных образцов                     | 10    | 10    |
| 2.    | Подача источника зажигания, с                      | 120   | 120   |
| 3.    | Самостоятельное горение, среднее, с                | 37,0  | 44,9  |
| 4.    | Тление, среднее, с                                 | 45,5  | 53,8  |
| 5.    | Средняя потеря массы, %                            | 11,89 | 12,72 |
| 6.    | Расход состава, г/м <sup>2</sup>                   | ≥1000 | ≥1000 |
| 7.    | Группа огнезащитной эффективности по ГОСТ 16363-98 | II    | II    |



**Рисунок 1. Сравнительные результаты испытаний композиций VKK-1 и VKK-2**

Полученные результаты показывают, что композиция VKK-1 характеризуется несколько более низкими значениями продолжительности самостоятельного горения, тления и потери массы по сравнению с VKK-2. Наблюдаемое различие может быть связано с особенностями формирования защитного минерально-силикатного слоя на поверхности древесины и взаимодействием компонентов композиции при термическом воздействии. Формирование

такого слоя способствует ограничению тепломассопереноса между зоной горения и древесным материалом и, соответственно, снижению интенсивности его термического разложения.

### Выводы

Проведены экспериментальные исследования огнезащитной эффективности разработанных коллоидных композиций на основе вермикулита VKK-1 и VKK-2 на древесных образцах. Для каждой композиции исследовано по 10 экспериментальных образцов, при этом время подачи источника зажигания составляло 120 с. Для состава VKK-1 среднее время самостоятельного горения составило 37,0 с, среднее время тления — 45,5 с, средняя потеря массы — 11,89 %. Для состава VKK-2 среднее время самостоятельного горения составило 44,9 с, среднее время тления — 53,8 с, средняя потеря массы — 12,72 %.

По совокупности исследованных показателей композиция VKK-1 продемонстрировала более благоприятные результаты по сравнению с VKK-2, характеризуясь меньшей продолжительностью самостоятельного горения и тления, а также меньшей средней потерей массы.

По результатам проведённых испытаний установлено, что разработанные композиции VKK-1 и VKK-2 при расходе не менее 1000 г/м<sup>2</sup> обеспечивают II группу огнезащитной эффективности древесины по ГОСТ 16363-98 [4, с. 5].

Полученные результаты подтверждают перспективность использования разработанных коллоидных композиций на основе вермикулита для повышения пожарной безопасности древесных конструкций и сооружений.

### Список литературы

1. Арцыбашева О.В., Визгалова Г.И., Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Анализ способов и средств огнезащиты для снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости деревянных конструкций // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2014. – № 3. – С. 13–20.
2. Афанасьев С.В., Коротков Р.В. Азотофосфорсодержащие антипирены пропитывающего действия для древесины // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 6. – С. 38–42.
3. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 9.
4. ГОСТ 16363-98. Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 6 с.
5. Колядова Т.Г., Мельников Н.О. Исследование эффективности огнезащитного лака для древесины // Успехи в химии и химической технологии. – 2015. – № 8. – С. 35–37.
6. Литяга А.В. Повышение пожарной безопасности полимерных материалов на основе антипиренов, содержащих силикатные композиции: дис. PhD. – Академия МЧС Республики Узбекистан. – 2022. – 80 с.

7. Сафин Р.Р., Гирфанов А.А., Сафина А.В. Исследование огнезащитной эффективности деревянных конструкций различного периода эксплуатации // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – № 2 (58). – С. 107–112.
8. Трифонова О.Н. Химическая модификация древесины с целью снижения ее горючести // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Т. 17, № 1. – С. 23–25.
9. Федотов И.О., Сивенков А.Б., Нагановский Ю.К. Эффективность огнезащитных пропиточных составов для деревянных конструкций // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2023. – № 3. – С. 67–78.
10. Яковлева Р.А., Попов Ю.В., Саенко Н.В., Шевцова Е.Ю. Огнебиостойкие эпоксидные композиции для защиты древесины // Успехи в химии и химической технологии. – 2007. – Т. 21, № 6. – С. 23–28.
11. Ismailov, R.I., Khaidarov, I.N., Lityaga, A.V. and Khaidarov, F.A., 2024. Investigation of some properties of materials impregnated with fire-resistant compositions. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3021, No. 1, P. 070009). AIP Publishing.

### References

1. Artsybasheva O.V., Vizgalova G.I., Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Analysis of methods and means of fire protection to reduce the fire hazard and increase the fire resistance of wooden structures // Fires and Emergencies: Prevention, Elimination. – 2014. – No. 3. – P. 13–20.
2. Afanasyev S.V., Korotkov R.V. Nitrogen-phosphorus-containing fire retardants of impregnating action for wood // Fire and Explosion Safety. – 2012. – Vol. 21, No. 6. – P. 38–42.
3. Berlin A.A. Combustion of polymers and low-flammability polymer materials // Soros Educational Journal. – 1996. – No. 9.
4. GOST 16363-98. Fire-retardant products for wood. Methods for determining fire-retardant properties. P. 6. – Moscow: IPK Izdatelstvo standartov, 2002.
5. Kolyadova T.G., Melnikov N.O. Investigation of the effectiveness of fire-retardant varnish for wood // Advances in Chemistry and Chemical Technology. – 2015. – No. 8. – P. 35–37.
6. Lityaga A.V. Improving fire safety of polymer materials based on flame retardants containing silicate compositions: PhD thesis. – Academy of EMERCOM of Uzbekistan. – P. 80. – 2022.
7. Safin R.R., Girfanov A.A., Safina A.V. Investigation of the fire-retardant efficiency of wooden structures of different service periods // Systems. Methods. Technologies. – 2023. – No. 2 (58). – P. 107–112.
8. Trifonova O.N. Chemical modification of wood to reduce its flammability // Fire and Explosion Safety. – 2008. – Vol. 17, No. 1. – P. 23–25.
9. Fedotov I.O., Sivenkov A.B., Naganovsky Yu.K. Effectiveness of fire-retardant impregnating compositions for wooden structures // Problems of Risk Management in the Technosphere. – 2023. – No. 3. – P. 67–78.

- 
10. Yakovleva R.A., Popov Yu.V., Saenko N.V., Shevtsova E.Yu. Fire- and bioprotective epoxy compositions for wood protection // *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. – 2007. – Vol. 21, No. 6. – P. 23–28.
  11. Ismailov R.I., Khaidarov I.N., Lityaga A.V. and Khaidarov F.A., 2024. Investigation of some properties of materials impregnated with fire-resistant compositions. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3021, No. 1, P. 070009). AIP Publishing.

Статья поступила в редакцию: 14.09.2026

Статья принята к публикации: 18.09.2026

Статья опубликована: 28.09.2026

**УДК 551.5+551.6+556.5**

**Влияние изменения климата на метеорологические тенденции в бассейне  
реки Чирчик: анализ за 2008–2024 гг.**

**Рузиев Дилмурод**

докторант кафедры гидравлики и гидроинформатики

Национальный исследовательский университет Ташкентский институт инженеров

ирригации и механизации сельского хозяйства

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: ruzievdilmurod98@gmail.com

**Матказиев Дилшод**

ио доц.

Ташкентский архитектурно-строительный университет

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: dilshod.matkaziyeu@gmail.com

**Юлдашева Саодат**

магистр Национальный исследовательский университет Ташкентский институт

инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: saodatyuldosheva2@gmail.com

**Библиографическое описание:** Рузиев Д., Матказиев Д., Юлдашева С. Влияние изменения климата на метеорологические тенденции в бассейне реки Чирчик: анализ за 2008–2024 гг. // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 9(150). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23421>

## **Impact of climate change on meteorological trends in the Chirchik river basin: an analysis of 2008–2024**

**Ruziev Dilmurod**

*Doctoral student*

*Department of Hydraulics and Hydroinformatics, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural  
Mechanization Engineers National Research University  
Uzbekistan, Tashkent*

**Matkaziye Dilshod**

*Acting Associate Professor of Tashkent University of Architecture and Civil Engineering  
Uzbekistan, Tashkent*

**Yuldasheva Saodat**

*MSc of Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers National  
Research University  
Uzbekistan, Tashkent*

### **Аннотация**

В исследовании оценены изменения основных метеорологических показателей, наблюдавшиеся в бассейне реки Чирчик в 2008–2024 гг. Цель исследования заключалась в выявлении динамики температуры воздуха, температуры поверхности суши, осадков и скорости ветра в верхней, средней и нижней частях бассейна, а также в оценке их значения для управления водными ресурсами. В анализе использовались данные наблюдений метеорологических станций Чарвак, Ташкент и Чиназ, а также данные температуры поверхности суши, полученные со спутников MODIS. Наборы данных прошли контроль качества, после чего месячные значения были агрегированы в среднегодовые или годовые суммарные показатели. Тренды определялись методом линейной регрессии, а темпы изменений оценивались в пересчете на десятилетие. Результаты показали тенденцию к повышению температуры воздуха на всех станциях. Темп потепления на станциях Ташкент и Чиназ составил примерно 0,7–1,0 °C за десятилетие, тогда как на станции Чарвак он находился в пределах 0,3–0,5 °C за десятилетие. Данные MODIS указали на повышение температуры поверхности суши, особенно на урбанизированных территориях и сухих поверхностях. Осадки характеризовались высокой межгодовой изменчивостью, однако устойчивого и статистически значимого общего тренда выявлено не было. Скорость ветра также изменялась преимущественно в пределах естественной изменчивости. Полученные результаты свидетельствуют об усилении процесса потепления в бассейне в последние годы при сохранении нестабильного режима осадков. Эти изменения необходимо учитывать при планировании потерь на испарение, потребности в оросительной воде и сезонного водораспределения.

### **Abstract**

This study assessed the long-term changes in the main meteorological indicators observed in the Chirchik River Basin during 2008–2024. The objective of the study was to identify the dynamics of air temperature, land surface temperature, precipitation, and wind speed in the upper, middle, and lower parts of the basin and to evaluate their significance for water resources management. The analysis used observational data from the Charvak, Tashkent, and Chinaz

meteorological stations, as well as land surface temperature data obtained from the MODIS satellite. The datasets were subjected to quality control, and the monthly values were converted into annual mean or cumulative indicators. Trends were identified using linear regression, and the rates of change were evaluated on a decadal basis. The results showed an increasing air temperature trend at all stations. The warming rate was approximately 0.7–1.0 °C per decade at the Tashkent and Chinaz stations, while it ranged from 0.3 to 0.5 °C per decade at Charvak. MODIS data indicated an increase in land surface temperature, particularly in urbanized areas and over dry surfaces. Precipitation exhibited high interannual variability; however, no stable and statistically significant overall trend was identified. Wind speed also varied mainly within the range of natural fluctuations. The findings indicate that the warming process in the basin has intensified in recent years, while the precipitation regime remains unstable. These changes should be considered in the planning of evaporation losses, irrigation water demand, and seasonal water allocation.

**Ключевые слова:** бассейн реки Чирчик, изменение климата, метеорологические тенденции, температура воздуха, температура поверхности суши, осадки, скорость ветра, водные ресурсы.

**Keywords:** Chirchik River Basin, climate change, meteorological trends, air temperature, land surface temperature, precipitation, wind speed, water resources.

## Введение

Изменение климата оказывает существенное влияние на температуру воздуха, осадки, испарение, состояние снежного покрова и ледников, а также на формирование речного стока. Для аридных регионов, где водные ресурсы ограничены и сельское хозяйство зависит от орошения, эти процессы имеют особое значение. Климат Центральной Азии отличается резко континентальным и засушливым характером, а речной сток во многом формируется за счет снегового и ледникового питания. Повышение температуры может приводить к более раннему снеготаянию, сокращению снежного покрова и снижению летнего стока, что осложняет эксплуатацию водохранилищ, распределение оросительной воды и работу гидроэнергетических систем [2,7,11]. Одновременно возрастает испарение, снижается влажность почвы и увеличивается потребность сельскохозяйственных культур в воде [6,13]. Бассейн реки Чирчик является важным водохозяйственным районом северо-востока Узбекистана. Его водные ресурсы используются для коммунальных, промышленных, энергетических и сельскохозяйственных нужд. Значительные различия в высоте, рельефе и земном покрове обуславливают пространственную неоднородность климатических условий в верхней, средней и нижней частях бассейна [5,8]. В урбанизированных районах дополнительное влияние оказывает эффект городского острова тепла [9,10], поэтому совместное использование наземных наблюдений и спутниковых данных MODIS позволяет более полно оценивать температурные изменения [10]. Исследования по Центральной Азии и Узбекистану подтверждают общую тенденцию к потеплению, тогда как осадки характеризуются высокой межгодовой и пространственной изменчивостью [3,4,9]. Вместе с тем комплексные исследования, объединяющие данные метеостанций и дистанционного зондирования для различных зон бассейна Чирчика, остаются ограниченными.

Цель исследования — выявить тенденции температуры воздуха и поверхности суши, осадков и скорости ветра в верхней, средней и нижней частях бассейна реки Чирчик за 2008–2024 гг. и оценить их значение для управления водными ресурсами. Для анализа использованы данные метеостанций Чарвак, Ташкент и Чиназ, спутниковые данные MODIS и метод линейной регрессии.

### Материалы и методы

**Район исследования.** В качестве района исследования выбран бассейн реки Чирчик. Бассейн расположен на северо-востоке Узбекистана, преимущественно в пределах Ташкентской области, и занимает площадь около 14 900 км<sup>2</sup> (рисунок 1). Река Чирчик образуется при слиянии рек Пskem и Чаткал, берущих начало в горах Западного Тянь-Шаня. Ее сток регулируется Чарвакским водохранилищем, ниже которого река проходит по Ташкентско-Чирчикской долине и в нижнем течении впадает в Сырдарью.

Рельеф бассейна резко изменяется от высокогорных участков к низменным равнинам. В верхней части бассейна абсолютные отметки превышают 3000 м, а в нижних районах вблизи Чиназа снижаются примерно до 250–300 м. Вследствие этого горная часть бассейна характеризуется сравнительно холодным и влажным климатом, тогда как низменные районы отличаются жаркими и засушливыми условиями. Годовое количество осадков в высокогорьях может достигать 1200–1600 мм, в средней части бассейна составляет примерно 450–500 мм, а в нижней — 300–350 мм. Основная часть осадков выпадает в зимний и весенний периоды.



Рисунок 1. Расположение бассейна реки Чирчик и его гидрографическая сеть

Таблица 1.

Региональные характеристики метеорологических станций, использованных в исследовании

| Станция | Положение в бассейне | Ландшафтные условия                           | Роль в анализе                                                      |
|---------|----------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Чарвак  | Верхняя часть        | Горная территория и окрестности водохранилища | Характеризует холодную и относительно влажную верхнюю зону бассейна |

| Станция | Положение в бассейне | Ландшафтные условия     | Роль в анализе                                                                     |
|---------|----------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Ташкент | Средняя часть        | Урбанизированная долина | Позволяет оценить эффект городского острова тепла и условия средней части бассейна |
| Чиназ   | Нижняя часть         | Засушливая равнина      | Характеризует жаркие и засушливые условия низменной части бассейна                 |

**Источники и подготовка данных.** В исследовании использованы данные метеорологических наблюдений температуры воздуха, осадков и скорости ветра за период 2008–2024 гг. Станции Чарвак, Ташкент и Чиназ были выбраны потому, что они представляют различные высотные и ландшафтные зоны бассейна. Температура поверхности суши оценивалась по спутниковому продукту MODIS MOD11A2, а данные реанализа ERA5 использовались в качестве дополнительного источника для пространственного сопоставления и проверки результатов.

На первом этапе проверялись полнота и логическая согласованность наборов данных. Пропущенные, дублирующиеся и физически неправдоподобные значения выявлялись и исключались из соответствующих рядов. Поскольку данные станции Чарвак за 2014–2015 гг. были недостаточно полными, эти годы исключили из анализа трендов. При проверке данных особое внимание уделялось недопущению искусственного изменения общей структуры рядов наблюдений.

**Методы статистического и пространственного анализа.** Месячные наблюдения агрегировались в среднегодовые значения температуры воздуха и скорости ветра, а для осадков — в годовые суммы. Средняя, минимальная и максимальная температуры воздуха анализировались отдельно. Изображения MODIS фильтровались по облачности и пикселям низкого качества, после чего формировались слои среднегодовой температуры поверхности суши.

Временные изменения каждого метеорологического показателя оценивали с использованием простой модели линейной регрессии:

$$Y_t = a + bt + \varepsilon_t \quad (1)$$

где  $Y_t$  — значение метеорологического показателя в году  $t$ ;  $a$  — свободный член регрессии;  $b$  — годовой коэффициент тренда;  $\varepsilon_t$  — случайная ошибка. Скорость изменения за десятилетие рассчитывали как  $10b$ . Статистическую значимость коэффициента тренда оценивали с помощью  $t$ -критерия. Для каждого ряда рассчитывали угловой коэффициент тренда ( $b$ ) и его стандартную ошибку ( $SE$ ), коэффициент детерминации ( $R^2$ ) и уровень значимости ( $p$ ) по  $t$ -критерию Стьюдента; тренд считался статистически значимым при  $p < 0,05$ . Полные результаты регрессионного анализа (уравнения,  $R^2$ ,  $SE$  и  $p$ ) обобщены в таблице 2, а линии тренда с уравнениями регрессии приведены на соответствующих рисунках. Для выявления пространственных различий результаты станций сопоставлялись с учетом высоты местности и ландшафтных условий. Графики были построены в MS Excel, OriginLab и Python, а карты подготовлены в ArcGIS Pro.

Поскольку период анализа ограничен 17 годами, результаты интерпретировались не как климатические нормы длительного или векового масштаба, а как современные тенденции, наблюдавшиеся в 2008–2024 гг. Такой подход позволяет с необходимой осторожностью оценивать влияние отдельных экстремальных лет на рассчитанные тренды.

## Результаты

**Многолетние изменения температуры воздуха.** В 2008–2024 гг. на всех трех метеорологических станциях наблюдался положительный тренд среднегодовой температуры воздуха. Темп изменения был выше в нижней и урбанизированной частях бассейна и сравнительно ниже в горной верхней части. По результатам регрессионного анализа темп потепления на станциях Ташкент и Чиназ составил примерно 0,7–1,0 °С за десятилетие, а на станции Чарвак — 0,3–0,5 °С за десятилетие.

**Таблица 2.**

**Результаты линейной регрессии среднегодовой температуры воздуха по метеорологическим станциям за 2008–2024 гг.**

| Станция | Уравнение тренда            | b, °С/год | Темп, °С/10 лет | R <sup>2</sup> | SE, °С/год | p     |
|---------|-----------------------------|-----------|-----------------|----------------|------------|-------|
| Ташкент | $T = 15,01 + 0,088 \cdot t$ | 0,088     | 0,88            | 0,37           | 0,029      | 0,009 |
| Чиназ   | $T = 14,46 + 0,070 \cdot t$ | 0,070     | 0,70            | 0,29           | 0,028      | 0,025 |
| Чарвак  | $T = 9,06 + 0,042 \cdot t$  | 0,042     | 0,42            | 0,10           | 0,036      | 0,260 |

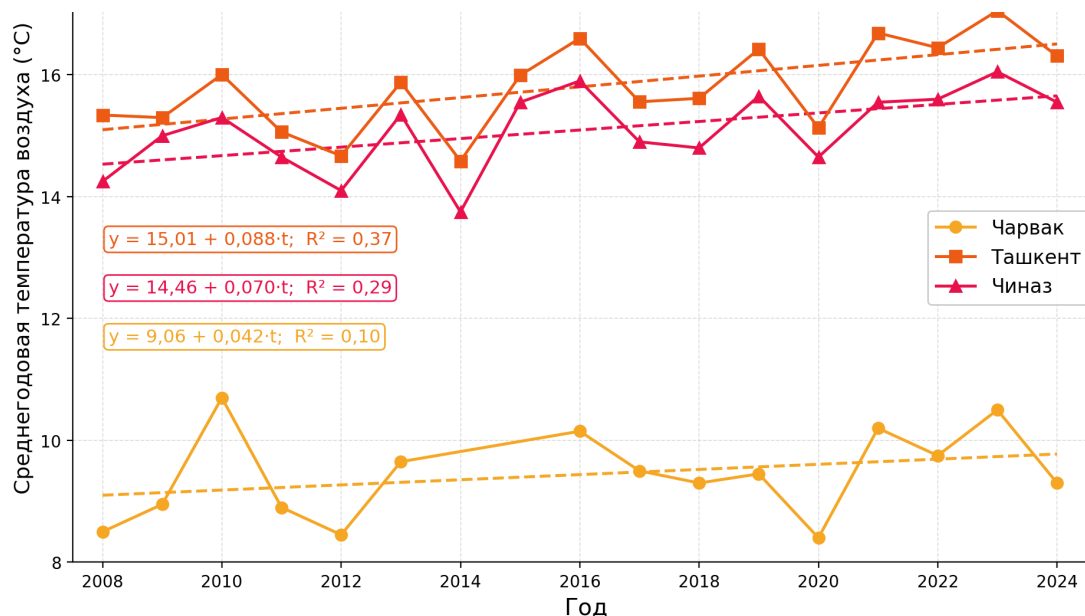
*Примечание: t — порядковый номер года (t = 1 для 2008 г.); b — угловой коэффициент тренда; SE — стандартная ошибка коэффициента; R<sup>2</sup> — коэффициент детерминации; p — уровень значимости по t-критерию Стьюдента.*

Согласно результатам регрессионного анализа, тренд среднегодовой температуры воздуха положителен на всех станциях. На станциях Ташкент и Чиназ он статистически значим ( $p < 0,05$ ) и соответствует потеплению 0,88 и 0,70 °С за десятилетие при коэффициентах детерминации  $R^2 = 0,37$  и  $0,29$  соответственно. На станции Чарвак тренд выражен слабее (0,42 °С за десятилетие,  $R^2 = 0,10$ ) и статистически не значим ( $p \approx 0,26$ ), что согласуется с менее выраженным потеплением в горной части бассейна и большой межгодовой изменчивостью. Уравнения регрессии, коэффициенты детерминации и уровни значимости приведены в таблице 2, а динамика среднегодовой температуры с линиями тренда и уравнениями показана на рисунке 2.

На станции Ташкент среднегодовая температура воздуха увеличилась примерно с 15,0 °С в 2008 г. до 16,0 °С в 2024 г., а на станции Чиназ — с 14,3 до 15,5 °С. На станции Чарвак годовые значения в основном изменялись в пределах 8,3–10,7 °С, при этом общий тренд потепления был менее выраженным, чем на равнинных станциях (рисунок 2). В связи со значительными колебаниями отдельных годовых значений регрессионный тренд является более надежным показателем, чем простое сопоставление начального и конечного годов периода наблюдений.

Изменения минимальных температур также указывают на постепенное смягчение зимних условий. В начале периода наблюдений минимальная температура в Чиназе опускалась до –24,5 °С, тогда как в последние годы она, как правило, не снижалась ниже –18

°С. В Ташкенте минимальные температуры также повысились примерно с  $-17$  до  $-9$  °С. Максимальные температуры оставались относительно стабильными и в основном находились в пределах  $40\text{--}42$  °С в Ташкенте и Чиназе и  $30\text{--}33$  °С в Чарваке. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наблюдаемое потепление сильнее проявлялось в холодный период года и в динамике минимальных температур.



**Рисунок 2. Динамика среднегодовой температуры воздуха на станциях Чарвак, Ташкент и Чиназ в 2008–2024 гг**

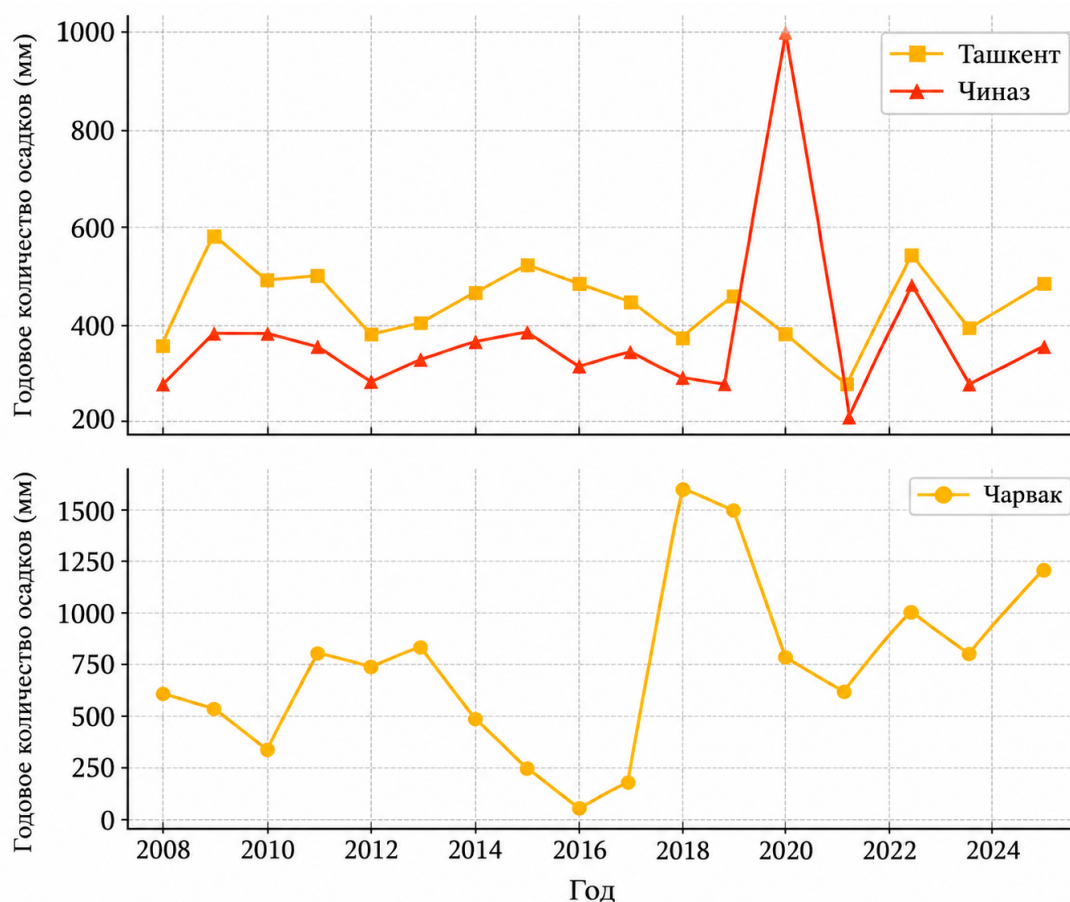
**Изменения температуры поверхности суши.** Спутниковые данные MODIS показали, что температура поверхности суши изменялась в том же общем направлении, что и температура воздуха. В летний период температура поверхности суши обычно составляла  $30\text{--}35$  °С на орошаемых территориях и участках, покрытых растительностью, и около  $25\text{--}30$  °С на горных склонах и в лесных районах. В то же время на сухих почвах, в районах плотной застройки и на асфальтированных поверхностях температура достигала  $50\text{--}60$  °С.

В городе Ташкенте и прилегающих урбанизированных районах поверхность земли в вечерние и ночные часы остывала медленнее. Такая особенность может быть связана с увеличением доли теплоаккумулирующих поверхностей и сокращением зеленых зон в пределах города. Однако для определения конкретного вклада урбанизации необходимы дополнительные сведения об изменениях земного покрова, плотности застройки и антропогенных источниках тепла.

**Межгодовая изменчивость осадков.** Осадки характеризовались значительно большей межгодовой изменчивостью по сравнению с температурой воздуха. В большинстве лет годовое количество осадков составляло примерно  $500\text{--}1600$  мм на станции Чарвак,  $300\text{--}580$  мм в Ташкенте и  $200\text{--}400$  мм в Чиназе. В 2020 г. на станции Чиназ было зарегистрировано около 995 мм осадков, что выделяет этот год как аномально влажный в рассматриваемом ряду наблюдений (рисунок 3).

Относительно влажные условия в горной части бассейна наблюдались в 2018–2019 гг., тогда как 2021 г. был сравнительно засушливым на всех трех станциях. Несмотря на то что отдельные расчеты указывали на слабую положительную тенденцию на станции Чарвак,

устойчивого и статистически значимого тренда в масштабах всего бассейна не выявлено из-за высокой изменчивости ряда осадков и сравнительно короткого периода наблюдений. Сезонное распределение осадков в целом оставалось неизменным, при этом наибольшая их доля приходилась на зимний и весенний периоды.

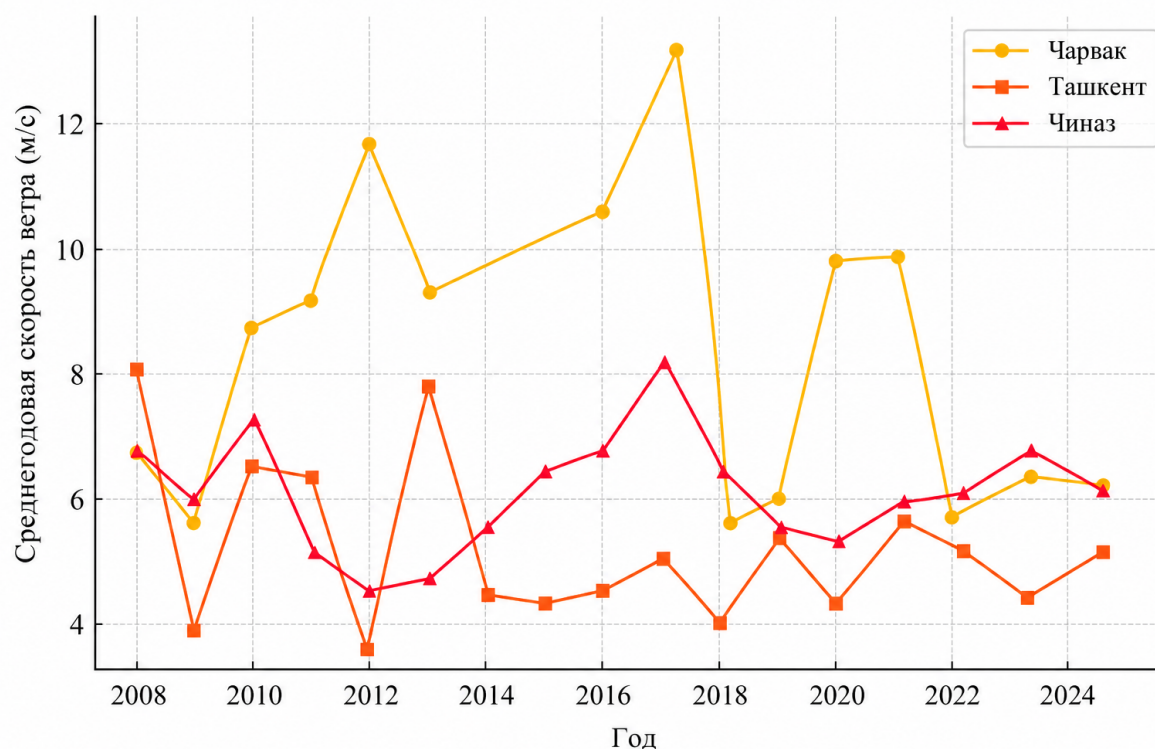


**Рисунок 3. Годовое количество осадков на станциях Чарвак, Ташкент и Чиназ в 2008–2024 гг.**

### Тенденции скорости ветра

Анализ скорости ветра не выявил четкого однонаправленного многолетнего тренда. На станции Чарвак годовые значения изменялись в более широком диапазоне, чем на других станциях, что связано с влиянием рельефа и локальной атмосферной циркуляции. В отдельные годы годовые значения скорости ветра превышали 12 м/с, тогда как в другие годы снижались примерно до 5–6 м/с.

На станции Ташкент после относительно высоких значений в 2008–2009 гг. скорость ветра в основном изменялась в пределах 4–6 м/с. На станции Чиназ годовые значения преимущественно составляли 5–7 м/с. Снижение скорости ветра, наблюдавшееся в отдельные годы в Ташкенте, может быть связано с увеличением плотности застройки и шероховатости подстилающей поверхности. Однако для подтверждения этой зависимости требуется отдельный анализ морфологии городской застройки и преобладающих направлений ветра.



**Рисунок 4. Динамика среднегодовой скорости ветра на станциях Чарвак, Ташкент и Чиназ в 2008–2024 гг.**

### Обсуждение

Результаты исследования показывают, что в бассейне реки Чирчик в 2008–2024 гг. наблюдалась тенденция к потеплению. Более выраженные тренды, зарегистрированные на равнинных станциях Ташкент и Чиназ по сравнению с горной станцией Чарвак, могут быть обусловлены совокупным влиянием высоты местности, характера земного покрова, урбанизации и локальной атмосферной циркуляции. В частности, одновременное повышение температуры воздуха и температуры поверхности суши по данным MODIS в Ташкенте указывает на возможное проявление эффекта городского острова тепла. Однако в настоящем исследовании вклад данного фактора отдельно не оценивался. Более быстрое повышение минимальных температур по сравнению с максимальными может свидетельствовать об ослаблении холодных зимних периодов. В горных бассейнах такие изменения способны влиять на сроки накопления и таяния снежного покрова и, следовательно, изменять начало весеннего стока. Вместе с тем речной сток, запасы снега и площадь ледников в данном исследовании непосредственно не анализировались. Поэтому влияние метеорологических изменений на режим стока реки Чирчик на данном этапе следует рассматривать как потенциальный гидрологический механизм, требующий подтверждения дополнительными наблюдениями.

Повышение температуры поверхности суши может усиливать испарение и эвапотранспирацию, ускорять иссушение почвы и увеличивать потери воды из водохранилищ и оросительных систем. В сельскохозяйственном производстве рост температуры влияет на водопотребность сельскохозяйственных культур, продолжительность вегетационного периода и урожайность. Поэтому при планировании распределения воды

необходимо учитывать не только многолетние средние значения, но и сценарии жарких и засушливых лет. Отсутствие устойчивого тренда в ряду осадков не означает отсутствия климатического риска. Напротив, резкий переход от влажных условий, наблюдавшихся в 2018–2020 гг., к засухе 2021 г. свидетельствует о высокой межгодовой неопределенности при управлении водными ресурсами. Во влажные годы особое значение приобретают противопаводковая защита и безопасная эксплуатация водохранилищ, тогда как в засушливые годы основными проблемами становятся дефицит оросительной воды и поддержание экологических попусков.

К основным ограничениям исследования относятся сравнительно короткий период наблюдений, отсутствие данных по отдельным годам на станции Чарвак, использование только трех метеорологических станций и отсутствие прямого анализа гидрологических показателей. Данные MODIS также содержат неопределенности, связанные с облачностью, размером пикселя и неоднородностью типов земного покрова. В дальнейших исследованиях целесообразно увеличить период наблюдений как минимум до 30 лет, применять непараметрические методы, включая тест Манна–Кендалла и оценку наклона Сена, а также совместно анализировать речной сток, снежный покров, испарение и изменения земного покрова.

### **Заключение**

Данные за 2008–2024 гг. показали повышение температуры воздуха во всех исследованных частях бассейна реки Чирчик. Темп потепления на станциях Ташкент и Чиназ составил примерно 0,7–1,0 °C за десятилетие, тогда как на станции Чарвак — около 0,3–0,5 °C за десятилетие. Помимо высотных различий, более выраженному потеплению в равнинных районах могли способствовать урбанизация и особенности земного покрова.

Наблюдения MODIS показали, что температура поверхности суши была выше на урбанизированных и сухих территориях и имела тенденцию к повышению во времени. Такие изменения важны для оценки потерь на испарение, условий увлажнения почвы и потребности в оросительной воде. Осадки характеризовались высокой межгодовой изменчивостью. Хотя отдельные влажные и засушливые годы отчетливо выделялись, устойчивого и статистически значимого общего тренда в пределах бассейна не выявлено. Аналогично, для скорости ветра не установлено устойчивого долгосрочного изменения определенной направленности.

В целом основным метеорологическим сигналом, выявленным в бассейне реки Чирчик, является повышение температуры воздуха и поверхности суши. В сочетании с нестабильностью режима осадков этот процесс требует гибкого планирования управления водными ресурсами, использования сезонных прогнозов и разработки специальных сценариев управления для экстремальных лет. Для определения прямого влияния метеорологических тенденций на речной сток необходимы комплексные исследования с привлечением многолетних гидрологических наблюдений.

## Список литературы

1. Didovets, I. Attribution of current trends in streamflow to climate change for 12 Central Asian catchments / I. Didovets, V. Krysanova, A. Nurbatsina [et al.] // *Climatic Change*. – 2024. – Т. 177. – DOI: 10.1007/s10584-023-03673-3.
2. Didovets, I. Central Asian rivers under climate change: Impacts assessment in eight representative catchments / I. Didovets, A. Lobanova, V. Krysanova [et al.] // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. – 2021. – Т. 34. – Art. 100779. – DOI: 10.1016/j.ejrh.2021.100779.
3. Fallah, B.H. Climate change impacts on Central Asia: Trends, extremes and future projections / B.H. Fallah, I. Didovets, M. Rostami [et al.] // *International Journal of Climatology*. – 2024. – Т. 34, № 10. – P. 3191–3213. – DOI: 10.1002/joc.8519.
4. Fallah, B.H. Anthropogenic influence on extreme temperature and precipitation in Central Asia / B.H. Fallah, E. Russo, C. Menz [et al.] // *Scientific Reports*. – 2023. – Т. 13. – Art. 6854. – DOI: 10.1038/s41598-023-33921-6.
5. Gafforov, K. Sh. The assessment of climate change on rainfall-runoff erosivity in the Chirchik–Akhangaran Basin, Uzbekistan / K. Sh. Gafforov, A. Bao, S. Rakhimov [et al.] // *Sustainability*. – 2020. – Т. 12, № 8. – Art. 3369. – DOI: 10.3390/su12083369.
6. Hanasaki, N. A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic Pathways – Part 2: Water availability and scarcity / N. Hanasaki, S. Fujimori, T. Yamamoto [et al.] // *Hydrology and Earth System Sciences*. – 2013. – Т. 17. – P. 2393–2413. – DOI: 10.5194/hess-17-2393-2013.
7. Hou, M. Hydrological response to twenty-first century climate change in the Amu Darya Basin, Central Asia / M. Hou, L. Cuo, H. Xu // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. – 2025. – Т. 54. – Art. 102606. – DOI: 10.1016/j.ejrh.2025.102606.
8. Khamidov, S. Assessment of temperature and precipitation trends in Kashkadarya, Uzbekistan / S. Khamidov, Z. Li, M. Nasirova [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – 2023. – Т. 365. – Art. 01005. – DOI: 10.1051/e3sconf/202336501005.
9. Kholmatjanov, B.M. Analysis of temperature change in Uzbekistan and the regional atmospheric circulation of Middle Asia during 1961–2016 / B.M. Kholmatjanov, Y.V. Petrov, T. Khujanazarov [et al.] // *Climate*. – 2020. – Т. 8, № 9. – Art. 101. – DOI: 10.3390/cli8090101.
10. Mohammad, P. The impact of the land cover dynamics on surface urban heat island variations in semi-arid cities: A case study in Ahmedabad City, India, using multi-sensor/source data / P. Mohammad, A. Goswami, S. Bonafoni // *Sensors*. – 2019. – Т. 19, № 17. – Art. 3701. – DOI: 10.3390/s19173701.
11. Ososkova, T. Water resources of Central Asia and adaptation measures for climate change / T. Ososkova, N. Gorelkin, V. Chub // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2000. – Т. 61. – P. 161–166. – DOI: 10.1023/A:1006394808699.
12. Peng, S. Assessment of climate change trends over the Loess Plateau in China from 1901 to 2100 / S. Peng, C. Gang, Y. Cao [et al.] // *International Journal of Climatology*. – 2018. – Т. 38. – P. 2250–2264. – DOI: 10.1002/joc.5331.

- 
13. Sommer, R. Impact of climate change on wheat productivity in Central Asia / R. Sommer, M. Glazirina, T. Yuldashev [et al.] // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2013. – Т. 178. – P. 78–99. – DOI: 10.1016/j.agee.2013.06.011.
  14. Wu, T. The Beijing Climate Center Climate System Model (BCC-CSM): The main progress from CMIP5 to CMIP6 / T. Wu, Y. Lu, Y. Fang [et al.] // Geoscientific Model Development. – 2019. – Т. 12, № 4. – P. 1573–1600. – DOI: 10.5194/gmd-12-1573-2019.

Статья поступила в редакцию: 03.09.2026

Статья принята к публикации: 16.09.2026

Статья опубликована: 28.09.2026

**УДК 355.58+614.8**

## **Теоретические и практические аспекты функционирования гражданской обороны в системе безопасности**

**Садыг-заде Ульви Адыль оглы**

*ст. преп. майор*

*кафедра спортивной, физической и аварийно-спасательной подготовки Академия МЧС*

*Азербайджанская Республика, г. Баку*

*E-mail: ulvi-sadixov@mail.ru*

## **Theoretical and practical aspects of the functioning of civil defense within the security system**

**Sadig-zade Ulvi Adil**

*senior Lecturer*

*Major Department of Sports, Physical and Emergency Rescue Training Academy of the Ministry of*

*Emergency Situations*

*Azerbaijan, Baku*

### **Аннотация**

В статье на материале законодательства и организационно-методических положений Азербайджанской Республики гражданская оборона рассматривается не как автономный набор мероприятий, а как функционально связанный механизм государственного обеспечения безопасности, способный переводить общие цели защиты населения и территорий в конкретные требования к управлению, подготовке, силам, ресурсам и инфраструктуре. Исходной предпосылкой исследования является разграничение понятий угрозы и опасности: угрозы связываются прежде всего с целенаправленной деятельностью субъектов, тогда как опасности могут иметь также природное и техногенное происхождение. Методологически работа основана на системном, структурно-функциональном, сравнительном и логико-аналитическом подходах; для ранжирования приоритетов использована взвешенная шкала критериев. На основе анализа Закона Азербайджанской Республики «О гражданской обороне» и сопоставления с российской нормативной моделью уточняется место гражданской обороны во взаимосвязи с системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, систематизируются факторы, влияющие на её состояние, и 21 государственная обязанность в области гражданской обороны группируется в семь укрупнённых направлений развития. В качестве результата предлагается связывать каждый приоритет не только с перечнем мероприятий, но и с ожидаемой способностью

---

**Библиографическое описание:** Садыг-заде У.А. оглы Теоретические и практические аспекты функционирования гражданской обороны в системе безопасности // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 9(150). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23411>

системы выполнить соответствующую задачу. Предложенная модель ориентирована на оценку практической готовности и поэтапное развитие до 2030 года; её ограничения и необходимость последующей эмпирической апробации отдельно обсуждаются.

### Abstract

The article examines civil defense in the context of the legislation and organizational framework of the Republic of Azerbaijan as a functionally integrated mechanism of state security. The study uses systemic, structural-functional, comparative and logical-analytical approaches, with a weighted scoring scheme for priority ranking. The analysis clarifies the relationship between civil defense and the national emergency prevention and response system, compares the Azerbaijani framework with the Russian regulatory model, and groups the 21 state duties established by the Azerbaijani Law “On Civil Defense” into seven broader development priorities. The proposed approach links each priority to the operational capability that the system is expected to demonstrate and shifts assessment from the formal availability of plans and resources toward practical readiness. A phased development logic through 2030 is retained, while the limitations of the proposed analytical instruments and the need for empirical validation are explicitly addressed.

**Ключевые слова:** гражданская оборона, угроза, опасность, готовность, управление, оповещение, эвакуация.

**Keywords:** civil defense, threat, danger, readiness, management, notification, evacuation.

### Введение

Современная среда безопасности характеризуется тем, что источники риска и последствия кризисных событий всё меньше укладываются в одну отраслевую категорию. Природные процессы, технологические аварии, эпидемиологические угрозы, социальная нестабильность, военные конфликты и информационное противоборство способны воздействовать на одни и те же объекты население, инфраструктуру, территориальные системы жизнеобеспечения и органы управления. Поэтому задача защиты населения не может оцениваться только по наличию отдельных сил или средств. Она должна рассматриваться как результат согласованной работы нескольких взаимозависимых элементов государственной системы.

Национальная безопасность определяется как состояние защищённости личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, при котором обеспечиваются права и свободы граждан, приемлемое качество жизни, суверенитет, независимость, территориальная целостность и устойчивое социально-экономическое развитие [1]. Для настоящего исследования принципиально то, что такое определение задаёт широкий контекст: гражданская оборона имеет значение не только в момент возникновения чрезвычайного события. Её состояние заранее влияет на способность государства сохранить управляемость, организовать защиту людей, обеспечить необходимые ресурсы и восстановить нормальное функционирование территорий.

Проблема исследования заключается в разрыве между нормативным пониманием гражданской обороны и практической оценкой её готовности. Перечень задач, органов, сил, средств и мероприятий сам по себе ещё не показывает, насколько быстро система сможет

перейти от планирования к действиям. Следовательно, развитие гражданской обороны целесообразно рассматривать как последовательность управленческих решений, в которой выявленные угрозы и опасности преобразуются в приоритетные задачи, задачи в требуемые способности, а способности в конкретные организационные, технические и ресурсные решения.

Цель уточнить функциональное место гражданской обороны в системе обеспечения национальной безопасности и на этой основе сформировать логически связанную модель приоритетов её развития до 2030 года. Для достижения цели рассматриваются: соотношение угроз и опасностей; место гражданской обороны среди инструментов государственной безопасности; взаимодействие с Единой системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций; факторы, определяющие состояние гражданской обороны; группировка задач по приоритетам; последовательность реализации; критерии оценки результата.

### Материалы и методы

Материальную основу исследования составили нормативно-правовые акты и организационно-методические документы Азербайджанской Республики в области гражданской обороны, защиты населения и территорий, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также научные публикации по вопросам национальной безопасности, управления рисками, устойчивости и развития систем защиты населения [1–4, 6–13, 15]. Ключевым нормативным источником является Закон Азербайджанской Республики «О гражданской обороне», в частности статья 6, устанавливающая 21 государственную обязанность в данной области [5]. Для анализа взаимодействия с системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций использованы также положения Постановления Кабинета Министров Азербайджанской Республики от 30 апреля 1992 г. № 239.

В качестве аналитического материала использованы положения, определяющие цели, задачи, функции, организационные основы и механизмы обеспечения готовности гражданской обороны. В работе не ставилась задача получения новых эмпирических данных; предметом исследования является аналитическая группировка нормативно закреплённых функций и перевод их в систему измеримых критериев готовности. В работе применены системный, структурно-функциональный, сравнительный и логико-аналитический методы. Системный подход использован для рассмотрения гражданской обороны как элемента общей системы безопасности; структурно-функциональный для установления связи между задачами, силами, управлением, ресурсами и защитными мероприятиями; сравнительный для сопоставления нормативной модели Азербайджанской Республики с базовыми положениями Федерального закона Российской Федерации от 12 февраля 1998 г. № 28-ФЗ «О гражданской обороне» [14]; логико-аналитический — для формирования причинно-следственной цепочки «опасность → задача → способность → ресурс → подготовка → проверка → оценка → коррекция». Для ранжирования семи направлений развития применена взвешенная матрица. Каждое направление оценивалось по четырём критериям по шкале от 1 до 5 баллов: критичность последствий (К), срочность (С), системная зависимость или обеспечивающее влияние на другие направления (З) и реализуемость при ограниченных ресурсах (Р).

Итоговый балл рассчитывался по формуле:  $I = 0,35K + 0,25C + 0,253 + 0,15P$ . Чем выше значение  $I$ , тем выше аналитический приоритет. Баллы являются авторской экспертно-аналитической оценкой, а не результатом статистического опроса; поэтому матрица используется как прозрачный инструмент структурирования приоритетов и требует последующей эмпирической проверки.

### Результаты и обсуждение

В теории безопасности абсолютное отсутствие опасности недостижимо: потенциальный источник ущерба существует независимо от того, реализуется ли он в конкретный момент. Поэтому безопасность рациональнее трактовать как состояние защищённости, формируемое определённым комплексом организационных, технических и иных мер между объектом защиты и возможным источником воздействия [2]. Для гражданской обороны это положение имеет прямое практическое значение. Если безопасность понимается как результат действия защитных барьеров, то эффективность гражданской обороны должна оцениваться по тому, насколько эти барьеры способны снизить последствия опасного события, сохранить управляемость и обеспечить выполнение первоочередных задач [4].



**Рисунок 1. Логическая схема перехода от угроз и опасностей к мерам защиты в системе гражданской обороны**

При этом различные источники риска могут сходиться в одной точке в последствиях для населения и территорий. Разрушение инфраструктуры, нарушение энергоснабжения, ограничение доступа к медицинской помощи, необходимость массовой эвакуации или потеря каналов связи предъявляют к системе схожие требования независимо от первоначальной природы события. Отсюда следует важный для гражданской обороны вывод: планирование должно строиться не только вокруг перечня угроз, но и вокруг критических последствий, которые система обязана уметь предотвращать либо минимизировать.

В статье также отмечается усиление противоборства в глобальном информационном пространстве, включая использование информационно-коммуникационных технологий для достижения геополитических целей, манипулирования общественным сознанием и фальсификации истории [7].

Для гражданской обороны это направление следует рассматривать прежде всего с точки зрения устойчивости управления и информирования населения. При кризисе достоверная информация становится частью защитного механизма: она должна обеспечивать своевременное доведение сигналов, понятное объяснение порядка действий и согласованность решений органов управления. Приведённые в статье результаты общественного опроса показывают наличие различающихся оценок международной обстановки [8]. Однако для целей гражданской обороны важнее не сама величина общественной тревожности, а то, что восприятие риска населением может отличаться от оценки органов управления. Следовательно, подготовка населения должна учитывать не только передачу инструкций, но и способность граждан правильно интерпретировать сигнал опасности и выполнять заранее известный алгоритм действий.



**Рисунок 2. Место гражданской обороны в системе обеспечения национальной безопасности**

Отсюда гражданская оборона может быть представлена как горизонтально связанный элемент. Она не заменяет собой все остальные механизмы безопасности, но использует их результаты и одновременно предъявляет к ним требования устойчивости. Например, эвакуация невозможна без транспортной инфраструктуры и управления; массовое укрытие населения требует инженерных решений; медицинская защита зависит от системы

здравоохранения; устойчивое информирование требует функционирующих каналов связи. Поэтому оценка гражданской обороны только по собственным силам и средствам неизбежно будет неполной.

Разграничение функций гражданской обороны и единой системы предупреждения и ликвидации ЧС.



**Рисунок 3. Единая система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданская оборона: сравнительная характеристика и взаимодействие**

Сравнительный анализ показывает, что в Азербайджанской Республике статья 6 Закона «О гражданской обороне» объединяет широкий круг государственных обязанностей — от государственной политики, планирования и подготовки кадров до оповещения, поддержания готовности сил, эвакуации, жизнеобеспечения и международного сотрудничества [5].

В Российской Федерации Федеральный закон № 28-ФЗ структурирует основные задачи гражданской обороны более компактно, включая обучение населения, оповещение, эвакуацию, предоставление защитных сооружений и средств защиты, проведение аварийно-спасательных работ и обеспечение постоянной готовности сил и средств [14].

Общим является функциональный акцент на подготовке, оповещении, защите населения и готовности сил; различие заключается прежде всего в структуре нормативного закрепления задач. Поэтому семь направлений, предложенные в настоящей статье, следует рассматривать как аналитическое укрупнение именно азербайджанской нормативной базы, а не как универсальную юридическую классификацию.

Практический смысл такого взаимодействия состоит в совместимости планов, связи, управления, подготовки и ресурсов. Если две системы используют разные подходы к терминологии, каналам связи, учениям или распределению ответственности, наличие

значительных ресурсов не гарантирует их совместного применения. Следовательно, одним из критериев готовности является не только готовность каждой системы в отдельности, но и способность работать совместно в едином сценарии.



**Рисунок 4. Факторы, определяющие состояние гражданской обороны и параметры её оценки**

Представленная модель показывает, что состояние гражданской обороны формируется не отдельными ресурсами, а совокупностью взаимосвязанных условий. Поэтому её готовность целесообразно оценивать по способности системы сохранять управляемость, обеспечивать подготовку людей и выполнять основные функции даже при одновременном нарушении нескольких элементов инфраструктуры.

Статья 6 Закона Азербайджанской Республики «О гражданской обороне» устанавливает 21 государственную обязанность в области гражданской обороны [5]. В исходной версии статьи эти положения были обобщены как «десять задач», что не отражало точную нормативную структуру. В настоящем исследовании 21 обязанность рассматривается как нормативная совокупность и группируется в семь функциональных направлений. Такая группировка не является новой юридической классификацией, а представляет собой авторскую аналитическую модель, предназначенную для оценки взаимозависимости задач и требуемых способностей системы.

Десять задач гражданской обороны охватывают нормативное обеспечение, подготовку населения и специалистов, развитие сил и средств, защиту населения, управление, внедрение технологий и международное взаимодействие [7]. Однако их последовательное перечисление не отражает взаимозависимость отдельных элементов системы.

Для практической оценки целесообразно перейти от перечня мероприятий к функциональным способностям [9]. В этом случае каждая задача рассматривается не как самостоятельное действие, а как элемент формирования конкретного результата: подготовленный персонал должен быть способен действовать, силы развернуться и выполнить задачу, система управления сохранить управляемость, а защитные мероприятия продолжать функционировать при изменении обстановки. На этой основе выделяются семь взаимосвязанных направлений развития: подготовка населения; развитие сил гражданской обороны; защита населения, эвакуация и жизнеобеспечение; управление, оповещение и информирование; международное сотрудничество; нормативно-методическое обеспечение; оценка готовности и совершенствование системы. Подготовка населения должна оцениваться не количеством учебных мероприятий, а способностью граждан правильно распознать сигнал опасности, выбрать необходимые действия и выполнить требования по защите и эвакуации. Развитие сил гражданской обороны предполагает формирование не только необходимого состава и оснащения, но и способности группировки своевременно развернуться и выполнить поставленную задачу. Поэтому ключевыми становятся подготовленность персонала, мобильность, управление и практическая проверка готовности [11]. Защита населения, эвакуация и жизнеобеспечение должны строиться с учётом возможного изменения обстановки. Эффективность определяется наличием альтернативных маршрутов, резервов и решений, позволяющих продолжать защитные мероприятия при нарушении отдельных элементов инфраструктуры. Международное сотрудничество следует рассматривать как механизм совершенствования национальных возможностей через обмен опытом, технологиями и практиками. Оно дополняет, но не заменяет внутреннюю готовность системы. Нормативно-методическое обеспечение создаёт единые правила планирования, подготовки и применения сил. Без него технические и организационные ресурсы не образуют согласованной системы. Взвешенная матрица позволяет сделать ранжирование воспроизводимым: одинаковые критерии применяются ко всем семи направлениям, а их относительная значимость задаётся заранее установленными весами. При этом критерий «системная зависимость» учитывает, создаёт ли развитие конкретного направления условия для реализации других направлений. Такой подход позволяет отличать приоритеты, критичные сами по себе, от приоритетов, имеющих мультипликативное влияние на устойчивость всей системы.



Рисунок 5. Управленческий цикл развития гражданской обороны



Рисунок 6. Поэтапная модель реализации приоритетов развития гражданской обороны на период 2026-2030 гг

Предлагаемая последовательность позволяет выявлять разрыв между планируемыми и фактическими возможностями гражданской обороны. Поэтому готовность целесообразно оценивать не по наличию отдельных планов и ресурсов, а по способности системы последовательно реализовать поставленную задачу на практике. Такой подход переводит управление от формального выполнения мероприятий к оценке реального результата и обеспечивает основу для последующей корректировки системы.



Рисунок 7. Модель уровней готовности ГО

Представленная модель показывает последовательное повышение готовности гражданской обороны от наличия нормативной и организационной основы до подтверждённой практической и устойчивой способности выполнять ключевые задачи. При этом разные направления системы могут находиться на разных уровнях готовности, что позволяет выявлять конкретные дефициты и определять приоритеты дальнейшего развития.

Для оценки состояния гражданской обороны предлагается разделять показатели по четырём уровням результата: ресурс, процесс, способность и результат. Такое разделение позволяет установить причинно-следственную связь между имеющимися условиями и фактической защищённостью населения.

Таблица 1.

## Взвешенная матрица приоритетов развития гражданской обороны

| Направление                                    | Критерии К/С/З/Р | Итоговый балл | Ранг | Интерпретация |
|------------------------------------------------|------------------|---------------|------|---------------|
| Управление, оповещение и информирование        | 5 / 5 / 5 / 4    | 4,85          | 1    | Очень высокий |
| Подготовка населения                           | 5 / 5 / 4 / 5    | 4,75          | 2    | Очень высокий |
| Защита населения, эвакуация и жизнеобеспечение | 5 / 5 / 5 / 3    | 4,70          | 3    | Очень высокий |
| Нормативно-методическое обеспечение            | 5 / 4 / 5 / 4    | 4,60          | 4    | Высокий       |
| Развитие сил гражданской обороны               | 5 / 4 / 5 / 3    | 4,45          | 5    | Высокий       |
| Оценка готовности и совершенствование системы  | 4 / 4 / 5 / 4    | 4,25          | 6    | Высокий       |
| Международное сотрудничество                   | 3 / 2 / 2 / 4    | 2,65          | 7    | Средний       |

Примечание: К — критичность последствий; С — срочность; З — системная зависимость/обеспечивающее влияние; Р — реализуемость при ограниченных ресурсах. Итоговый балл рассчитан по формуле  $I = 0,35K + 0,25C + 0,25Z + 0,15P$ . Значения отражают авторскую экспертно-аналитическую оценку.

Таблица 2.

**Матрица оценки уровней готовности гражданской обороны**

| Уровень оценки        | Что оценивается                                  | Основные показатели / примеры                                                                                  | Что позволяет установить                          |
|-----------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>1. Ресурс</b>      | Наличие необходимых условий                      | Нормативные документы, планы, силы, техника, имущество, экипировка, материальные резервы                       | Имеются ли необходимые ресурсы?                   |
| <b>2. Процесс</b>     | Способность ресурсов функционировать как система | Скорость оповещения, работа органов управления, подготовка персонала и населения, взаимодействие подразделений | Работают ли созданные механизмы?                  |
| <b>3. Способность</b> | Фактическая готовность выполнить задачу          | Результаты учений, тренировок и проверок; время развёртывания; выполнение поставленной задачи                  | Способна ли система выполнить задачу на практике? |
| <b>4. Результат</b>   | Итоговый эффект функционирования системы         | Снижение последствий, защита населения, сохранение жизнедеятельности, устойчивость при осложнении обстановки   | Достигнут ли требуемый эффект?                    |

Такая матрица позволяет последовательно проследить переход от наличия ресурсов к их практическому результату. При этом увеличение количества техники или иных ресурсов само по себе не свидетельствует о повышении готовности: результат подтверждается только при наличии функционирующих процессов и доказанной способности выполнить поставленную задачу.

**Обсуждение результатов**

Результаты анализа подтверждают, что ключевая проблема развития гражданской обороны заключается не в отсутствии отдельных направлений деятельности, а в необходимости связать нормативные, организационные, технические и учебные элементы в единый механизм. Наиболее высокие баллы получили управление и оповещение (4,85), подготовка населения (4,75), защита населения, эвакуация и жизнеобеспечение (4,70), что указывает на их критическое значение для оперативной устойчивости системы. При этом международное сотрудничество получило более низкий приоритет (2,65), поскольку оно усиливает национальные возможности, но не заменяет базовую внутреннюю готовность. Следовательно, матрица не отрицает значимость отдельных функций, а задаёт последовательность развития при ограниченных ресурсах. Особое значение имеет совместимость гражданской обороны с системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: наличие ресурсов каждой системы отдельно не гарантирует их совместного применения, поэтому взаимодействие должно проверяться в общих сценариях учений и тренировок. Ограничения исследования связаны с его концептуально-аналитическим характером. Баллы матрицы приоритетов не получены на основе статистически репрезентативного экспертного опроса, а четыре уровня готовности не имеют нормативно установленных пороговых значений. Кроме того, сравнительный анализ с российской моделью является контекстным и не предполагает прямого переноса правовых норм между юрисдикциями. Поэтому предложенные инструменты следует рассматривать как рабочую аналитическую модель. Следующим этапом может стать их апробация на данных

учений, тренировок и проверок, включая измерение времени оповещения, развёртывания сил, выполнения задач, устойчивости связи и сохранения жизнеобеспечения при отказе отдельных элементов инфраструктуры. Предложенная семиуровневая группировка не является единственно возможной. Альтернативно 21 государственную обязанность можно классифицировать по фазам цикла управления чрезвычайными ситуациями (предупреждение - готовность - реагирование - восстановление) либо по уровням управления (стратегический - оперативный - объектовый). Однако фазовая классификация слабее отражает постоянные функции гражданской обороны, а классификация по уровням управления смешивает содержание задач и субъектов их выполнения. Функциональная группировка, использованная в настоящей работе, предпочтительна для целей оценки готовности, поскольку непосредственно связывает нормативную обязанность с требуемой способностью системы.

### Заключение

1. Цель исследования достигнута: гражданская оборона уточнена как функциональный компонент системы национальной безопасности Азербайджанской Республики, переводящий государственную цель защиты населения и территорий в требуемые организационные и оперативные способности. Её эффективность определяется не отдельными ресурсами, а согласованностью управления, подготовки, сил, средств защиты, резервов и информационного обеспечения.

2. Нормативной основой группировки является статья 6 Закона Азербайджанской Республики «О гражданской обороне», содержащая 21 государственную обязанность [5]. Эти положения в статье объединены в семь функциональных направлений: нормативно-методическое обеспечение; подготовка населения; развитие сил; защита, эвакуация и жизнеобеспечение; управление, оповещение и информирование; международное сотрудничество; оценка готовности и совершенствование системы.

3. Взвешенная матрица делает выбор приоритетов прозрачным. При заданных критериях первое место занимает управление, оповещение и информирование (4,85), далее подготовка населения (4,75) и защита населения, эвакуация и жизнеобеспечение (4,70). Эти результаты являются аналитической оценкой автора и не претендуют на статус эмпирически валидированной методики.

4. Сравнительный анализ с российской нормативной моделью показывает сходство ключевых функциональных элементов при различиях в структуре их правового закрепления [14]. Это подтверждает целесообразность использовать сравнительный подход для выявления общих требований к готовности, сохраняя при этом национальную нормативную основу. Поэтапное планирование до 2030 года целесообразно осуществлять параллельно по взаимозависимым направлениям, используя результаты каждого периода как исходную информацию для следующего цикла.

5. Практическая рекомендация состоит в переходе от проверки наличия документов и ресурсов к проверке способности системы выполнять конкретные задачи по измеримым показателям: время оповещения, время развёртывания сил, результативность эвакуации, устойчивость связи, сохранение жизнедеятельности и результаты совместных учений. Дальнейшая работа должна включать эмпирическую апробацию матрицы и модели уровней готовности на данных реальных тренировок, учений и проверок.

### Список литературы

1. Бурлов В.Г. Управление гражданской защитой: учебное пособие [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2018. – DOI: 10.18720/SPBPU/2/s18-227.
2. Вишняков Я.Д., Вагин В.И., Овчинников В.В., Стародубец А.Н. Безопасность жизнедеятельности. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – 3-е изд., испр. – Москва: Академия, 2008. – 304 с.
3. Вострокнутов А.Л., Супрун В.Н., Шевченко Г.В. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Основы топографии: учебник для вузов. – Москва: Юрайт, 2020. – 399 с.
4. Емельянов В.М., Коханов В.Н., Некрасов П.А. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие для высшей школы. – Москва: Академический проект, 2003. – 480 с.
5. Закон Азербайджанской Республики «О гражданской обороне» (статья 6). Официальная база данных законодательства Азербайджанской Республики.
6. Костров А.В. Геополитика: учебно-методическое пособие. – Иркутск: ИГУ, 2015. – 119 с.
7. Микрюков В.Ю. Безопасность жизнедеятельности: учебник для образовательных учреждений среднего профессионального образования. – 8-е изд., стер. – Москва: КНОРУС, 2016. – 288 с.
8. Пресняков В.Ф. Основы управления проектами: учебник [Электронный ресурс]. – Москва: ИНТУИТ, 2016. – 197 с.
9. Садыг-заде У.А. Применение геоинформационных технологий в работе Управления ГО Азербайджанской Республики // Силовые структуры как инструмент обеспечения национальной безопасности: опыт проведения совместных операций: сб. материалов междунар. науч.-теорет. конф. – 2022. – С. 9–13.
10. Садыг-заде У.А., Махмудов Е.М. Актуальные проблемы чрезвычайных ситуаций // Менеджмент безопасности жизнедеятельности: перспективы развития и проблемы преподавания: сб. материалов VI открытой Респ. науч.-практ. интернет-конф. – 2024. – С. 68–73.
11. Сергеев В.С. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие для студентов вузов. – Москва: Константа: Академический Проект. – 2007. – 462 с.
12. Симонов В.В. Садыг-заде У.А., Сорокина Е.А. Методика обоснования рекомендаций по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций как основа профессиональной деятельности руководителя // Предотвращение. Спасение. Помощь: сб. трудов секции. – 2023. – № 21. – С. 47–51.
13. Топольский Н.Г., Минаев В.А., Симаков В.В. и др. Автоматизированная система материально-технического обеспечения // Технологии техносферной безопасности. – 2009. – № 2. – С. 1–15.

14. Федеральный закон Российской Федерации от 12 февраля 1998 г. № 28-ФЗ «О гражданской обороне» (в редакции от 23 июля 2025 г.).
15. Юртушкин В.И. Чрезвычайные ситуации: защита населения и территорий: учебное пособие для военных кафедр химических и химико-технологических высших учебных заведений Российской Федерации. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: КНОРУС, 2014. – 365 с.

### References

1. Burlov V.G. Civil Protection Management: Textbook [Electronic resource]. – Saint Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2018. – DOI: 10.18720/SPBPU/2/s18-227.
2. Vishnyakov Ya.D., Vagin V.I., Ovchinnikov V.V., Starodubets A.N. Life Safety. Protection of Population and Territories in Emergency Situations: Textbook for Students of Higher Educational Institutions. – 3rd ed., revised. – Moscow: Akademiya, 2008. – 304 P.
3. Vostroknutov A.L., Suprun V.N., Shevchenko G.V. Protection of Population and Territories in Emergency Situations. Fundamentals of Topography: Textbook for Higher Education Institutions. – Moscow: Yurait, 2020. – 399 P.
4. Emelyanov V.M., Kokhanov V.N., Nekrasov P.A. Protection of Population and Territories in Emergency Situations: Textbook for Higher Education. – Moscow: Academic Project, 2003. – 480 P.
5. Law of the Republic of Azerbaijan “On Civil Defense” (Article 6). Official legislative database of the Republic of Azerbaijan.
6. Kostrov A.V. Geopolitics: Study Guide. – Irkutsk: Irkutsk State University, 2015. – 119 P.
7. Mikryukov V.Yu. Life Safety: Textbook for Educational Institutions of Secondary Vocational Education. – 8th ed., unabridged. – Moscow: KNORUS, 2016. – 288 P.
8. Presnyakov V.F. Fundamentals of Project Management: Textbook [Electronic resource]. – Moscow: INTUIT, 2016. – 197 P.
9. Sadyg-zade U.A. Application of Geographic Information Technologies in the Work of the Civil Defense Department of the Republic of Azerbaijan // Power Structures as an Instrument for Ensuring National Security: Experience of Conducting Joint Operations: Proceedings of the International Scientific-Theoretical Conference. – 2022. – P. 9–13.
10. Sadyg-zade U.A., Makhmudov E.M. Current Problems of Emergency Situations // Life Safety Management: Development Prospects and Problems of Teaching: Proceedings of the 6th Open Republican Scientific-Practical Internet Conference. – 2024. – P. 68–73.
11. Sergeev V.S. Protection of Population and Territories in Emergency Situations: Textbook for University Students. – Moscow: Konstanta; Academic Project. – 2007. – 462 P.
12. Simonov V.V., Sadyg-zade U.A., Sorokina E.A. Methodology for Substantiating Recommendations for the Prevention and Elimination of Emergency Situations as a Basis for the Professional Activity of a Manager // Prevention. Rescue. Assistance: Proceedings of the Section. – 2023. – No. 21. – P. 47–51.

- 
13. Topolsky N.G., Minaev V.A., Simakov V.V. et al. Automated System for Material and Technical Support // Technologies of Technosphere Safety. – 2009. – No. 2.
  14. Federal Law of the Russian Federation No. 28-FZ of 12 February 1998 “On Civil Defense” (as amended 23 July 2025).
  15. Yurtushkin V.I. Emergency Situations: Protection of Population and Territories: Textbook for Military Departments of Chemical and Chemical-Technological Higher Educational Institutions of the Russian Federation. – 3rd ed., revised and supplemented. – Moscow: KNORUS, 2014. – 365 P.

**ARTICLES IN ENGLISH**

**INFORMATION AND DIGITAL TECHNOLOGIES**

**COMPUTER SCIENCE, COMPUTING AND CONTROL**

*Статья поступила в редакцию: 30.08.2026*

*Статья принята к публикации: 05.09.2026*

*Статья опубликована: 28.09.2026*

**УДК 005.2+658.5+330.341**

**DOI: 10.32743/UniTech.2026.150.9.23377**

**The 3-Loop Flow Method as a new operational model for knowledge work management: a multi-loop control system approach**

**Khakimov Anvar Rustemovich**

*Owner,*

*Jira Metrics Plugin*

*Russia, Moscow*

*E-mail: iurkov.pro@gmail.com*

**Метод трёхконтурного потока как новая операционная модель управления интеллектуальным трудом: подход на основе многоконтурной системы управления**

**Хакимов Анвар Рустемович**

*владелец плагина Jira Metrics*

*Российская Федерация, г. Москва*

**Abstract**

Knowledge work environments face persistent challenges in managing work intake, execution flow, and individual cognitive load. The operational frameworks most widely adopted in practice, Scrum, Kanban, and Lean, address these three dimensions through separate and largely uncoupled mechanisms. This raises the question examined in this article: can a control architecture that formally couples commitment governance, delivery flow, and cognitive load regulation into a single

---

**Библиографическое описание:** Хакимов А.Р. Метод трёхконтурного потока как новая операционная модель управления интеллектуальным трудом: подход на основе многоконтурной системы управления // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 9(150). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23377>

**For citation:** Khakimov A.R. The 3-Loop Flow Method as a New Operational Model for Knowledge Work Management: A Multi-Loop Control System Approach // Universum: Technical Sciences : electronic scientific journal. 2026. No. 9(150). Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23377>

feedback system diagnose and correct overload conditions that existing frameworks leave structurally unregulated? The article presents an independent, conceptual, design-science evaluation of the 3-Loop Flow Method, an operational model developed by Yurkov (2026c) that integrates three interdependent feedback loops, the Commit Loop, the Delivery Loop, and the Cognition Loop, into a unified governance architecture. The evaluation applies Hevner et al.'s (2004) utility, quality, and efficacy criteria; it does not draw on controlled field trials. It identifies which architectural elements are genuinely novel relative to Kanban, Scrum, and sociotechnical systems theory, and which extend or recombine existing constructs. The principal theoretical contribution examined here is the formalization of cognitive load as a governable system variable coupled bidirectionally to commitment and delivery control, a coupling absent from management control systems literature and from the dominant agile frameworks. The principal practical contribution is a diagnostic capability that attributes a given throughput decline to its structural source: over-admission of demand, execution-layer congestion, or individual cognitive saturation. The article closes by specifying the boundary conditions under which the architecture applies, the implementation risks organizations should anticipate, and the empirical research agenda required before the propositions examined here can be considered validated.

### Аннотация

Среда интеллектуального (знаниевого) труда сталкивается с устойчивыми трудностями в управлении приёмом работы, потоком выполнения задач и индивидуальной когнитивной нагрузкой. Наиболее широко применяемые на практике операционные фреймворки (Scrum, Kanban и Lean) решают эти три задачи с помощью разрозненных и практически несвязанных между собой механизмов. Это порождает вопрос, рассматриваемый в данной статье: способна ли архитектура управления, формально объединяющая регулирование обязательств, поток поставки и регулирование когнитивной нагрузки в единую систему обратной связи, диагностировать и устранять состояния перегрузки, которые существующие фреймворки структурно оставляют без регулирования? В статье представлена независимая концептуальная оценка метода трёхконтурного потока (3-Loop Flow Method) в рамках дизайн-ориентированного исследования (design science), операционной модели, разработанной Юрковым (2026c), которая объединяет три взаимозависимых контура обратной связи, контур обязательств (Commit Loop), контур поставки (Delivery Loop) и когнитивный контур (Cognition Loop) — в единую архитектуру управления. Оценка проводится с применением критериев полезности, качества и эффективности по Хевнеру и соавт. (2004); она не опирается на контролируемые полевые испытания. В работе определяется, какие элементы архитектуры являются подлинно новыми по отношению к Kanban, Scrum и социотехнической теории систем, а какие расширяют или перекомбинируют уже существующие конструкции. Основной теоретический вклад, рассматриваемый в статье, формализация когнитивной нагрузки как управляемой системной переменной, двунаправленно связанной с управлением обязательствами и поставкой; такая связь отсутствует как в литературе по системам управленческого контроля, так и в доминирующих гибких (agile) методологиях. Основной практический вклад, диагностическая способность соотносить конкретное снижение производительности с его структурным источником: избыточным приёмом спроса, перегрузкой на уровне исполнения или индивидуальным

когнитивным перенасыщением. В заключение статьи определяются граничные условия применимости архитектуры, риски внедрения, которые следует учитывать организациям, и программа эмпирических исследований, необходимая для подтверждения рассматриваемых в статье положений.

**Keywords:** knowledge work management, operational models, feedback loops, cognitive load, workflow control, capacity planning, service level expectations, work-in-progress limits, design science research, conceptual modeling.

**Ключевые слова:** управление интеллектуальным трудом, операционные модели, контуры обратной связи, когнитивная нагрузка, управление рабочим потоком, планирование мощности, ожидаемый уровень обслуживания, лимиты незавершённой работы, дизайн-ориентированные исследования, концептуальное моделирование.

## Introduction

Knowledge work has become the dominant form of economic value creation in developed economies, yet the operational models governing it have not kept pace with the complexity they must absorb (Anderson & Carmichael, 2016; Drucker, 1999). The dominant management failure modes are structural: teams experience commitment overload, unstable cycle times, and burnout because the systems governing intake, execution, and attention contain no coupled feedback mechanisms that would prevent these conditions from accumulating. Agile methodologies, Kanban, and Lean each introduced genuine partial solutions to this problem, and each also left structural gaps that became visible as teams scaled or as demand variability increased. The analytical framework proposed by Yurkov (2026a) treats these gaps as diagnosable architectural deficiencies, distinguishing patterns that produce stable flow from antipatterns that generate chronic overload.

A second structural driver compounds this problem. Queueing theory predicts that delivery unpredictability at high system utilization is substantially a property of the load level itself, and recedes only once sustained utilization drops below a nonlinearity threshold. Software delivery teams operating near that threshold exhibit bimodal cycle times, a pattern consistent with queue dynamics near saturation (Yurkov, 2026b).

This raises a specific research question: does an architecture that formally couples commitment intake, delivery flow, and cognitive load regulation into a single feedback system produce diagnostic and corrective properties that Kanban, Scrum, and Lean, each governing only one of these dimensions, cannot produce independently? The 3-Loop Flow Method, developed and formalized by Yurkov (2026c), proposes such an architecture. The present article undertakes an independent conceptual evaluation of that proposal, separate from Yurkov's own development work.

## Materials and Methods

### Literature Review

Knowledge work management research divides across three theoretical traditions that existing frameworks address largely in isolation. Scrum formalizes intake discipline through fixed-length sprints and defined roles, and its principal strength is coordination predictability: stakeholders

receive a stable cadence of deliverable review, and teams gain protection from mid-cycle scope insertion (Schwaber & Sutherland, 2020). Kanban dispenses with fixed cadence in favor of continuous flow governed by WIP limits; Anderson (2010) and Anderson and Carmichael (2016) document that this substitution reduces cycle-time variance by preventing queue congestion at individual workflow stages, without imposing the cadence rigidity that constrains Scrum's responsiveness to shifting priorities. Lean product development, as synthesized by Womack and Jones (1996) and extended to knowledge-intensive contexts by Reinertsen (2009), contributes a third mechanism: systematic identification and elimination of process-stage bottlenecks, together with an explicit treatment of queueing economics that agile literature typically omits. Little's (1961) law formalizes the relationship between throughput, WIP, and cycle time, and Hopp and Spearman (2008) demonstrate that waiting time grows superlinearly once system utilization exceeds roughly 80 percent of capacity.

Each framework's strength maps onto a corresponding structural gap. Scrum's sprint boundary provides intake discipline but recalibrates capacity only once per cycle, leaving the system exposed to informal scope accretion between planning events. Kanban's WIP limits govern active inventory but leave the volume of informal obligations a team accumulates in a backlog unconstrained. Detecting when individual cognitive saturation is reducing per-item throughput independently of WIP accumulation falls outside both frameworks' scope. Sociotechnical systems theory anticipated this omission at a general level: Trist and Bamforth (1951) and Cherns (1976) argued that technical and human subsystems require joint optimization, and that systems governing only the technical flow of work while leaving the psychological demands of that work unregulated will underperform their technical design. Cognitive research supplies the specific mechanism through which this underperformance occurs in knowledge work. Rubinstein et al. (2001) quantified task-switching costs of up to 40 percent of productive time for rule-complex alternating tasks; Ophir, Nass, and Wagner (2009) found that habitual heavy multitaskers show a reduced ability to filter irrelevant information and to switch between tasks efficiently; and Leroy (2009) demonstrated that incomplete tasks leave attention residue in working memory that degrades performance on subsequent tasks even after workers report full reorientation. The dominant operational frameworks leave cognitive load ungoverned as a system variable, with no defined thresholds or formal response protocols. This is the gap the 3-Loop Flow Method addresses by coupling commitment governance, flow control, and cognitive load regulation into a single cross-loop control architecture (Yurkov, 2026c).

### **Conceptual Framework and Evaluation Approach**

This article is a conceptual contribution. The 3-Loop Flow Method is presented by Yurkov (2026c) as a design science artifact, constructed through iterative refinement of observed failure patterns across software development, research, consulting, and analytical operations. The design science orientation fits a problem domain that is a complex socio-organizational system, one that cannot readily be evaluated through a controlled laboratory experiment; evaluation instead proceeds through analytical consistency with established theory and through explicit specification of measurable signals that enable future empirical testing (Hevner et al., 2004). The architectural decomposition into three coupled control domains is the method's central design decision, and its justification is diagnostic: an architecture that addresses commitment, execution, and cognition

through a single mechanism, such as a sprint planning ceremony, cannot distinguish over-admission of demand from execution-layer queue congestion as a cause of delivery failure, because both manifest identically as a missed sprint goal.

The evaluation conducted here assesses three criteria drawn from the design science evaluation framework (Hevner et al., 2004). Utility is assessed by examining whether each loop addresses a gap that the literature review identifies as structural in existing frameworks. Quality is assessed by examining whether the cross-loop feedback signals specified in Section 3.4 are internally consistent and non-contradictory. Efficacy is assessed prospectively, by examining whether the observable signals specified in Table 1 would be expected to shift in the intended direction when policies change; this is a theoretical expectation derived from queueing and cognitive-load theory.

Three categories of claim recur through the remainder of the article and are kept analytically distinct. Design assumptions are stipulated conditions the architecture requires to function. Theoretical expectations are directional predictions derived from established theory. Empirically established effects are findings reported in cited primary studies. The method's numerical thresholds belong to the first category, design assumptions: Yurkov (2026c) sets them from managerial heuristics and from the queueing-theoretic reasoning summarized in Section 2. An organization adopting the method should treat these values as a starting point and recalibrate them against its own throughput and cycle-time distributions.

## Results and Discussion

### The Commit Loop

The Commit Loop governs intake through a categorical distinction between Options and Commitments. An Option is a formally defined representation of potential work carrying four mandatory attributes: a Time-to-Live expiration date that forces explicit renewal or expiry; a Done Definition specifying acceptance criteria agreed before work begins; an Acceptor identifying the role responsible for accepting the delivered output; and a Class of Service designating the applicable priority policy (Standard, Expedite, Fixed Date, or Intangible). The Time-to-Live attribute addresses indefinite backlog accumulation, an antipattern in which items remain in a nominal queue for months without being committed or rejected.

The commitment point is bilateral by design, addressing the principal-agent asymmetry that Eisenhardt (1989) identifies as structurally inherent in delivery agreements: a standard contract makes the team (agent) accountable for delivery while leaving the stakeholder (principal) free to modify requirements unilaterally, which removes the principal's incentive to stabilize scope. Under bilateral commitment, the Acceptor commits to requirements stability and to accepting the delivered output when it satisfies the agreed Done Definition, while the team commits to delivery within a probabilistic Service Level Expectation, or SLE, a statement such as an 85 percent probability of completion within twelve days for a Standard item, derived from the 85th percentile of that class's historical cycle-time distribution rather than from its mean. This distinction matters because cycle-time distributions in knowledge work are non-normal with positive skew, so a mean-based promise understates the modal delivery time and will be missed for roughly half of all commitments even under error-free execution (Yurkov, 2026b).

The Commit Budget bounds how much new work the team may accept per planning cycle, based on demonstrated throughput over the preceding period and adjusted downward if cycle-time variance has increased or blocked items indicate emerging congestion. This creates a negative feedback loop between demonstrated capacity and intake volume: the budget tightens when delivery lags and relaxes when throughput recovers.

### **The Delivery Loop**

The Delivery Loop's central design element, as described by Yurkov (2026c), is an explicit operational mode state machine governing system behavior when WIP constraints are violated; Kanban already provides the WIP limit itself. Normal mode is the reference state: WIP remains within defined per-stage limits, throughput is stable within one standard deviation of the historical average, and no items have breached their SLE. Overload mode activates when any of the following conditions are observed: WIP exceeds the stage limit by more than 10 percent, throughput declines by more than one standard deviation below the four-week moving average, blocked items exceed 20 percent of active WIP, or two or more items breach their SLE in a single observation period.

Overload mode mandates a stop-the-line response: no new items enter any active workflow stage, and available capacity concentrates on items already in progress. The intervention is counterintuitive in knowledge work because individuals appear to have spare capacity during an overload event, and the instinct is to start new work to maintain visible activity.

That instinct is expected to worsen the condition. As established in Section 2, adding an item to an already congested queue extends in-queue waiting time for every item already present (Hopp & Spearman, 2008; Yurkov, 2026b). Stopping intake and concentrating capacity on completion is the queueing-theoretic mirror image of that mechanism.

Recovery mode requires sustained throughput stability across a minimum of two consecutive planning cycles without WIP violations before the system returns to Normal. This hysteresis condition targets a pattern Yurkov (2026a) documents as recovery oscillation: a single stable cycle following an overload event may simply reflect the low-inventory state immediately after the stop-the-line intervention, before the underlying congestion is actually resolved. The requirement is structurally analogous to a settling-time requirement in electrical control systems, where a controller withholds reactivation of an input until the output variable has demonstrably stabilized. During Recovery, the Commit Budget is capped at 70 percent of its Normal-mode calibration, and aging distributions of in-progress items receive additional monitoring.

Early SLE Progress checks activate when elapsed time since commitment reaches 50 percent of the item's SLE duration. Because knowledge-work cycle-time distributions are right-skewed, the conditional probability of eventual SLE breach is elevated at this point for items that have not yet entered a late workflow stage. The check surfaces this probability as an explicit triage signal, prompting blocker escalation or stakeholder expectation adjustment before the intervention window closes.

## The Cognition Loop

The Context Token Protocol operationalizes cognitive load as a governable system variable. Each work item receives a Context ID representing the cognitive domain it occupies; items sharing a Context ID require related knowledge structures and can be progressed without cognitive reconfiguration, while items with distinct Context IDs require separate mental models and reference knowledge. Active Contexts is the count of distinct Context IDs in an individual's current assignments, and Context Capacity, or Ccap, is the maximum Active Context count an individual should hold concurrently, typically one to two for deep-work individual contributors and three to four for coordination roles that inherently span multiple domains. When Active Contexts exceeds Ccap, the individual enters Thrash mode.

The empirical grounding for Ccap limits rests on objective measurement. Rubinstein et al. (2001) measured task-switching costs from 0.1 to 0.5 seconds per switch for simple tasks, rising to as much as 40 percent of productive time for rule-complex alternating tasks; subjective workload ratings are poor predictors of these costs, since Ophir et al. (2009) found that individuals who multitask most heavily are also least accurate at judging their own susceptibility to distraction. Leroy (2009) further showed that the residual representation of an incomplete task persists in working memory after switching, reducing performance on the new task even when workers report feeling fully oriented.

The Stop/Start rule, activated when an individual enters Thrash mode, blocks new-work initiation until Active Contexts returns below Ccap, through one of three actions: completing items to close contexts, deferring non-urgent items, or redistributing assignments to team members below their own Ccap. Commit Loop screening extends this governance upstream by evaluating, before a new commitment is accepted, whether the assignment would push a required individual into Thrash mode; an item can be declined at the commitment stage because the specific individual required is already at Ccap, even when team-level capacity remains available.

## Cross-loop coupling

The three loops operate at nested cadences: the Commit Loop weekly to biweekly, the Delivery Loop continuously with daily observation, and the Cognition Loop at each assignment change. Cross-loop feedback operates through four defined signal channels, two moving from Delivery to Commit and two moving from Cognition to the other loops.

The two Delivery-to-Commit channels are symmetric. An Overload mode activation reduces the next cycle's Commit Budget by 30 percent and suspends new commitments until Recovery mode exit conditions are met; conversely, two consecutive stable Recovery cycles increase the Commit Budget by 15 percent per cycle until Normal-mode calibration is restored. The two channels originating in the Cognition Loop act preemptively, before Delivery Loop congestion appears. Sustained Thrash mode in a team member reduces effective throughput, which the Delivery Loop is expected to detect within one to two observation cycles as a throughput decline; if that decline exceeds one standard deviation, it triggers Overload mode even before WIP limits are formally violated. Commit Loop screening, separately, rejects any proposed commitment that would push a critical individual into Thrash, intended to prevent a Cognition Loop violation from propagating into Delivery Loop congestion in the first place.

The architecture's claimed properties originate in this coupling itself. Table 1 formalizes the resulting control surface.

**Table 1.****Control surface of the 3-Loop Flow Method (adapted from Yurkov, 2026c)**

| Control Domain | Objective                                                    | Primary Mechanisms                                                                                  | Observable Signals                                                     | Failure Mode if Absent                                                                        |
|----------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Commit Loop    | Align intake with demonstrated capacity                      | Commit Budget, bilateral commitment, Class of Service, Early SLE                                    | Intake rate by class; unstarted item age; priority churn rate          | Chronic overcommitment; deadline renegotiation replacing governance                           |
| Delivery Loop  | Predictable throughput; reduced lead-time variance           | WIP limits; Normal/Overload/Recovery state machine; blocked-work protocol; Early SLE Progress check | WIP by stage; throughput trend; cycle-time distribution; work-item age | WIP accumulation; heavy-tailed cycle times; reactive-only crisis management                   |
| Cognition Loop | Protect sustained attention; constrain context fragmentation | Context Token Protocol; Ccap limits; Stop/Start rule; context-aware commit screening                | Active contexts per person; context churn; rework frequency            | Invisible cognitive overload; quality erosion; coordination overhead exceeding execution time |

A throughput decline accompanied by rising unstarted-item age and priority churn indicates a Commit Loop failure and calls for tightening the Commit Budget; the same decline accompanied by stable intake but rising blocked-work and WIP indicates a Delivery Loop failure and calls for the stop-the-line protocol; a decline with WIP and intake both within bounds but rising Active Contexts per person indicates a Cognition Loop failure and calls for context consolidation through reassignment. This diagnostic specificity is the practical difference between a framework that instructs teams to “reduce WIP” and one that identifies which variable is driving the WIP to accumulate.

**Theoretical Propositions and Expected Mechanisms**

This section restates the architecture's claimed advantages as directional predictions grounded in queueing theory and cognitive psychology. None has been tested through a controlled field trial; each specifies the mechanism through which the predicted effect would occur and the conditions under which it would be observable, so that the prediction can be falsified by future empirical work.

Bilateral commitment is expected to amplify this effect, on the theoretical basis that requirement instability during execution inflates cycle time by imposing rework and context-reconstruction costs on capacity already allocated to completion; Yurkov (2026a) reports scope change rates two to four times higher in organizations without bilateral commitment protocols, a finding drawn from the author's own case observations rather than an independent field study, and one that future research should replicate independently.

## Discussion

The 3-Loop Flow Method's theoretical contribution, as analyzed here, is the coupling of three control domains that existing frameworks treat as separable concerns. The diagnostic value of this architectural separation is substantial: in an organization without this structure, a throughput drop during a high-demand period is typically attributed to individual execution failures or to technical complexity, because the management system provides no signal distinguishing over-admission of demand from execution-layer congestion from individual cognitive saturation. All three conditions manifest identically.

Little's Law ( $L = \lambda W$ ) functions in the 3-Loop Method as a retrospective validation instrument for calibration, distinct from its misapplication as a forward planning formula. The method uses this relationship to check whether the Commit Budget, WIP limits, and cycle-time distributions are mutually consistent, catching calibration errors before they produce commitment failures (Little, 1961).

## Conclusion and Future Research Perspectives

This article's central contribution is a formal accounting of what the 3-Loop Flow Method adds to existing operational frameworks: the Delivery Loop extends Kanban, the Commit Loop offers an alternative to Scrum's sprint-boundary intake discipline, and the Cognition Loop introduces a control domain with no direct predecessor in the frameworks reviewed in Section 2. The coupling itself is the architecture's distinguishing theoretical property, and it generates a testable claim: a management system built on this coupling should be able to attribute a given throughput decline to its structural source, over-admission, execution congestion, or cognitive saturation.

The research agenda this evaluation implies is direct. A controlled or quasi-experimental field study comparing teams operating under the 3-Loop Method against matched Kanban or Scrum control teams, tracking cycle-time distribution shape, throughput stability, and recovery-cycle count following induced or naturally occurring overload events, would provide the first independent test of the Commit Budget and stop-the-line predictions developed in Section 4. Instrumentation studies validating whether Context IDs can be assigned reliably across raters, and whether Active Context counts correlate with independently measured task-switching costs along the lines Rubinstein et al. (2001) established, would test the Context Token Protocol prediction. Until that agenda is carried out, the architecture examined here should be read as a coherent, internally consistent, and theoretically grounded proposal whose practical value remains a hypothesis.

## References

1. Adler P.S. & Borys, B. Two types of bureaucracy: Enabling and coercive. *Administrative Science Quarterly* – 1996. – T. 41, № 1. – P. 61–89. – DOI: 10.2307/2393986.
2. Anderson D.J. (2010). *Kanban: Successful evolutionary change for your technology business*. Blue Hole Press. – 261 P.
3. Anderson D.J. & Carmichael, A. *Essential Kanban condensed*. Lean Kanban University Press. – 2016. – 102 P.

4. Cherns, A. The principles of sociotechnical design. *Human Relations* – 1976. – Т. 29, № 8. – P. 783–792. – DOI: 10.1177/001872677602900806.
5. Drucker P.F. Knowledge-worker productivity: The biggest challenge. *California Management Review* – 1999. – Т. 41, № 2. – P. 79–94. – DOI: 10.2307/41165987.
6. Eisenhardt K.M. Agency theory: An assessment and review. *Academy of Management Review* – 1989. – Т. 14, № 1. – P. 57–74. – DOI: 10.2307/258191.
7. Hevner A.R., Salvatore, T., March S.T., Park, J. & Ram, S. Design science in information systems research. *MIS Quarterly* – 2004. – Т. 28, № 1. – P. 75–105. – DOI: 10.2307/25148625.
8. Hopp W.J. & Spearman M.L. *Factory physics* (3rd ed.). McGraw-Hill/Irwin. – 2008. – 720 P.
9. Leroy, S. Why is it so hard to do my work? The challenge of attention residue when switching between work tasks. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* – 2009. – Т. 109, № 2. – P. 168–181. – DOI: 10.1016/j.obhdp.2009.04.002.
10. Little J.D.C. A proof for the queuing formula  $L = \lambda W$ . *Operations Research* – 1961. – Т. 9, № 3. – P. 383–387. – DOI: 10.1287/opre.9.3.383.
11. Ophir, E., Nass, C. & Wagner A.D. Cognitive control in media multitaskers // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2009. – Vol. 106, No. 37. – DOI: 10.1073/pnas.0903620106.
12. Reinertsen D.G. *The principles of product development flow: Second generation lean product development*. Celeritas Publishing. – 2009. – 294 P.
13. Rubinstein J.S., Meyer D.E. & Evans J.E. Executive control of cognitive processes in task switching // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. – 2001. – Vol. 27, No. 4. – DOI: 10.1037/0096-1523.27.4.763.
14. Schwaber, K. & Sutherland, J. *The Scrum guide: The definitive guide to Scrum: The rules of the game*. Scrum.org. – 2020. – 13 P.
15. Trist E.L. & Bamforth K.W. Some social and psychological consequences of the longwall method of coal-getting. *Human Relations* – 1951. – Т. 4, № 1. – P. 3–38. – DOI: 10.1177/001872675100400101.
16. Womack J.P. & Jones D.T. *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster. – 1996. – 350 P.
17. Yurkov, Y. *Patterns and antipatterns of knowledge flow management systems*. LAP Lambert Academic Publishing. – 2026. – 63 P.
18. Yurkov Y.Y. Analytical models of task tracking systems: A comprehensive framework for workflow optimization and performance analysis. In *Aktual'nye nauchnye issledovaniya: sbornik statey XXXIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. – Penza: International Center for Scientific Cooperation “Science and Education,” 2026. – P. 26–31.
19. Yurkov Yu.Yu. *Architecture and adaptation of flow control systems: The three-loop flow method*. LAP Lambert Academic Publishing. – 2026. – 69 P.

Статья поступила в редакцию: 20.08.2026

Статья принята к публикации: 13.09.2026

Статья опубликована: 28.09.2026

УДК 004.9+338.2+658.5

## **Cloud-native EDI migration in retail: an organizational and managerial toolkit based on stage-gate governance and qualitative risk classification**

**Nikolaev Konstantin**

*Director of Software Engineering AiDiKom*

*USA, Carlsbad*

*E-mail: t6192148993@gmail.com*

### **Миграция retail-систем EDI в cloud-native архитектуру: организационно-управленческий инструментарий на основе stage-gate и качественной классификации рисков**

**Николаев Константин**

*директор*

*по разработке программного обеспечения AiDiKom*

*США, Карлсбад*

#### **Abstract**

Electronic Data Interchange (EDI) remains the primary method by which retailers exchange orders, invoices and shipment notices with trading partners, yet many retailers still operate these systems on on-premises infrastructure that constrains scalability as e-commerce volumes grow. The objective of this study is to develop an organizational and managerial toolkit for migrating retail EDI systems to a cloud-native architecture. Two research tasks are addressed: (1) to justify the governance stages of the migration process, and (2) to classify the technical risks associated with the transition to cloud-native EDI. Methodologically, the study applies the Stage-Gate project management approach to derive and justify governance stages and formal decision checkpoints, and a qualitative risk analysis method to identify and classify integration barriers and migration risks. The results are presented as two original analytical instruments: a five-pillar stage-gated governance model specifying activities, decision gates and accountability for each stage of EDI migration (Table 1), and a risk classification matrix linking technical migration risks to their business implications for the retailer and to mitigation methods derived from the proposed model (Table 2). Published industry evidence is used in the discussion to assess the practical applicability of the toolkit. The proposed toolkit gives retailers a structured and auditable basis for planning EDI migration and for allocating managerial responsibility across its stages.

---

**Библиографическое описание:** Николаев К. Миграция retail-систем EDI в cloud-native архитектуру: организационно-управленческий инструментарий на основе stage-gate и качественной классификации рисков // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 9(150). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23397>

**For citation:** Nikolaev K. Cloud-native EDI migration in retail: an organizational and managerial toolkit based on stage-gate governance and qualitative risk classification // Universum: Technical Sciences : electronic scientific journal. 2026. No. 9(150). Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23397>

## Аннотация

Электронный обмен данными (EDI) остаётся основным способом передачи заказов, счетов-фактур и уведомлений об отгрузке между ритейлерами и их торговыми партнёрами, однако многие компании по-прежнему эксплуатируют такие системы на локальной инфраструктуре, что ограничивает масштабируемость при росте объёмов электронной коммерции. Цель исследования — разработать организационно-управленческий инструментарий миграции retail-систем EDI в cloud-native архитектуру. Решаются две исследовательские задачи: (1) обосновать управленческие стадии процесса миграции и (2) классифицировать технические риски перехода к cloud-native EDI. Методологически исследование опирается на подход проектного управления Stage-Gate, используемый для обоснования стадий управления и формальных точек принятия решений, а также на метод качественного анализа рисков для выявления и классификации интеграционных барьеров и рисков миграции. Результаты представлены двумя оригинальными аналитическими инструментами: пятикомпонентной stage-gate моделью управления, определяющей мероприятия, точки контроля и распределение ответственности на каждой стадии миграции EDI (Таблица 1), и матрицей классификации рисков, связывающей технические риски миграции с их бизнес-последствиями для ритейлера и методами их снижения в рамках предложенной модели (Таблица 2). Опубликованные отраслевые данные используются в разделе обсуждения для оценки практической применимости инструментария. Предложенный инструментарий даёт ритейлерам структурированную и проверяемую основу для планирования миграции EDI и распределения управленческой ответственности по её стадиям.

**Keywords:** Cloud EDI, electronic data interchange, retail integration, e-commerce, migration, Stage-Gate governance, qualitative risk analysis, risk classification.

**Ключевые слова:** Cloud EDI, электронный обмен данными, интеграция в розничной торговле, электронная коммерция, миграция, Stage-Gate управление, качественный анализ рисков, классификация рисков.

## Introduction

Retailers have used Electronic Data Interchange (EDI) for a long time to pass orders, invoices, and shipment details between suppliers and customers [1]. For years, the usual way was to keep the systems on servers inside company offices. Those setups managed normal daily volumes without too much trouble. But when online shopping picked up speed, the old systems started showing their age. Hardware upgrades turned expensive, maintenance windows forced service stops, and bringing in a new partner from another country often meant weeks of manual work and testing.

This pattern has been observed across multiple retail companies in IT governance contexts. Online sales keep growing every year, and retailers now need to handle large transaction numbers without any delays. Traditional on-premises systems cannot scale easily or stay up all the time [2].

Cloud-native EDI gives a better practical answer. It runs on cloud services and is made from small independent pieces — microservices and containers — that grow or shrink as demand changes [3]. The system does not need a full stop for updates or repairs. This paper explains the practical benefits for retailers, outlines a structured migration approach, and demonstrates how the transition improves customer service outcomes.

A governance framework has been developed based on IT governance practices and vendor negotiation experience. It has five pillars and clear approval points at every stage. The framework keeps risks under control and turns the migration into an ordinary business step rather than a risky adventure [5].

The paper stays exactly on the approved topic. It covers the move to cloud-based EDI that removes legacy infrastructure barriers, so retailers can process millions of transactions daily with zero downtime and full scalability for global marketplaces. It draws on industry practices to establish best practices for migrating on-premises systems to cloud EDI while making sure data flows stay secure and new trading partners join quickly. Finally, it shows how automation of invoice reconciliation and shipment tracking turns EDI into a real competitive edge for personalised online shopping experiences.

The objective of this study is to develop an organizational and managerial toolkit for migrating retail EDI systems to a cloud-native architecture. To achieve this objective, two research tasks are set: first, to justify the governance stages of the migration process; second, to classify the technical risks associated with the transition to cloud-native EDI. The scientific novelty of the work lies in the fact that migration governance and migration risk are treated as a single managerial instrument rather than as separate concerns: each identified technical risk is mapped to a specific decision gate at which it is controlled, and to the organizational role accountable for that control. This distinguishes the proposed toolkit from existing cloud-migration frameworks, which either describe migration stages without linking them to a risk taxonomy, or assess risks without specifying the governance point at which each risk is resolved. The paper is organised according to the IMRAD structure: the Materials and Methods section sets out the object of study and the two methodological approaches applied; the Results and Discussion section presents the governance model and the risk classification matrix and compares them with published evidence; the Conclusion summarises the findings and outlines directions for further work.

## **Materials and Methods**

This study is designed as applied methodological research. It does not test a statistical hypothesis; its purpose is to construct and justify a managerial instrument. The object of study is the process of migrating a retail EDI landscape from on-premises infrastructure to a cloud-native architecture. The subject of study is the organizational and managerial arrangements that govern this process. Two established methods are applied in sequence: the Stage-Gate project management approach, used to derive and justify the governance stages and their decision checkpoints, and qualitative risk analysis, used to identify and classify the technical risks of migration and to link each of them to a mitigation point within the resulting model. The empirical material consists of documented EDI migration projects in retail and logistics, together with vendor negotiation practice; published industry reports are used only as secondary evidence in the Discussion and are not treated as results of this study.

## **Theoretical grounding of the Stage-Gate approach**

The Stage-Gate approach, formulated by Cooper, structures a complex project into a sequence of discrete stages, each separated from the next by a formal decision point, or gate [9]. Within each stage the project team performs a prescribed set of parallel activities that reduce a defined area of uncertainty. At each gate a designated decision-maker evaluates the deliverables of the preceding stage against pre-agreed criteria and issues one of a limited set of decisions: proceed, return for rework, hold, or terminate. Two properties of the approach are essential for the present context. First, gates are accountability points rather than progress reports: each gate has a named owner and an explicit pass criterion, so that responsibility for a decision cannot be diffused across the project team. Second, resources for the next stage are committed only after the gate is passed, which converts an open-ended technical programme into a sequence of bounded, reversible commitments [10].

The applicability of Stage-Gate to EDI migration follows from the structure of the migration problem itself. EDI migration is irreversible in its later phases, since trading partners cannot be repeatedly reconnected without commercial consequences; it involves several organizational functions whose obligations differ (IT, legal, procurement, security, operations); and its failure modes are latent, in that an incorrectly mapped message may be detected only after it has affected an order or an invoice. A stage-gated structure addresses all three properties: it forces the irreversible steps to be preceded by explicit verification, it assigns each verification to the function competent to perform it, and it prevents progression while a latent defect remains unresolved. Accordingly, the governance model presented in this paper adapts the Stage-Gate logic by defining five stages of EDI migration, a single mandatory gate for each stage, an explicit pass criterion for each gate, and a single accountable role per gate.

## **Qualitative risk analysis method**

The second task is addressed through qualitative risk analysis, which is the appropriate method where risk probabilities cannot be estimated from a homogeneous historical dataset. This is the case in EDI migration: each retail landscape is a unique combination of legacy systems, partner profiles and contractual arrangements, so frequencies observed in one migration are not transferable to another. Qualitative analysis therefore characterises risks by source, mechanism and consequence rather than by numerical probability [11]. The procedure applied here follows four steps. First, risk identification: candidate risks were extracted from the documented migration projects and from the barriers reported in the literature on electronic data exchange and cloud migration [2], [7], [12]. Second, classification by source, separating technical-integration, regulatory, economic, organizational and contractual origins. Third, assessment of business consequence, in which each risk is expressed in terms of its effect on the retailer's operations rather than on the IT estate alone. Fourth, assignment of a mitigation point, in which each risk is mapped to the specific gate of the governance model at which it is controlled. The output of this procedure is the classification matrix presented in the Results and Discussion section.

The object of study is characterised as follows. Cloud-native EDI differs from legacy implementations in that processing is not bound to fixed servers in a single location. Message handling is decomposed into independent services — one receives inbound messages, another

converts them into the required EDI format, a third transmits them onward through APIs — so that the failure of one component does not halt the others, and capacity is added or withdrawn as transaction volume changes [3]. Integration with online storefronts and warehouse systems is achieved through APIs, which removes manual re-entry and the errors associated with it. These architectural properties define the technical environment within which the migration risks classified below arise; they are not themselves a result of the present study.

## Results and Discussion

### Construction of the governance model

Applying the Stage-Gate logic described above to the migration problem yields a governance model of five stages. Each stage corresponds to one area of uncertainty that must be closed before the next set of commitments is made: system assessment, vendor contract terms, data safety controls, phased rollout, and post-migration monitoring. For each stage the model specifies the activities to be completed, a single mandatory gate with an explicit pass criterion, and the organizational role accountable for the gate decision. The resulting model is presented in Table 1.

Table 1 sets out the five stages, their activities, gate criteria and accountable roles.

**Table 1.**

**Stage-gated governance model for cloud-native EDI migration (compiled by the author)**

| Pillar                       | Main Activities                                    | Approval Gate / Check Point          | Responsibility      |
|------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 1. System Assessment         | Document types, partners, volumes, mapping         | Complete risk register signed off    | IT governance team  |
| 2. Vendor Contract Rules     | Pricing, SLAs, data ownership, penalties           | Contract reviewed and signed         | Legal + procurement |
| 3. Data Safety Controls      | Encryption, access rules, compliance checks        | Security audit passed                | Security officer    |
| 4. Phased Rollout            | Pilot with one document type, side-by-side testing | Pilot results approved               | Project manager     |
| 5. Post-Migration Monitoring | Monthly performance and cost reviews               | 3-month and 6-month reports accepted | Operations team     |

First, carry out a detailed assessment of the current environment. List every document type, every trading partner, and the exact daily message volumes. Map all connections to ERP or warehouse systems and note any outdated protocols. This step usually takes two to four weeks, but gives a clear picture of risks and costs.

Second, select the cloud provider and EDI platform carefully. Compare pricing, security features, and support for retail standards. In vendor negotiations, clear terms for data ownership, uptime guarantees, and penalties are essential requirements [4]. Ask for proof of earlier retail migrations that achieved zero downtime. Test two or three platforms side by side before deciding.

Third, carry out the migration in controlled phases. Start with one group of partners or one document type, such as purchase orders. Run the old and new systems together for two to four weeks. Many companies complete the full change without any service stop. The golf equipment manufacturer mentioned earlier followed this path and brought new-partner onboarding down to nine days or less [7].

Data security must stay in place at every step. Use encryption for messages in transit and at rest. Set strict access rules. The governance framework requires safety checks at every approval gate.

Fourth, train the team and update internal processes. Prepare short guides for the new monitoring tools and alerts. Run practice sessions so staff get used to real-time information. Adjust daily routines to take advantage of the fresh data.

Fifth, make adding new partners fast. Cloud platforms usually offer self-service portals and standard templates. Partners can connect with very little help from the internal team.

Finally, set up ongoing monitoring. Check performance every month, review costs, and adjust capacity when needed. The framework asks for short reports at three months and again at six months after go-live to confirm that all targets were met.

Applying the qualitative risk analysis procedure to the migration stages described above yields the classification presented in Table 2. Each row states a technical risk of EDI migration, expresses its consequence in business terms for the retailer, and identifies the gate of the proposed model at which the risk is controlled.

**Table 2.**

**Classification of technical EDI migration risks, business implications and mitigation points within the proposed governance model (compiled by the author)**

| Technical risk of EDI migration                                                                 | Business implication for the retailer                                               | Mitigation point in the proposed governance model                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Incompatibility of legacy ERP and warehouse interfaces with cloud message formats and protocols | Loss or misinterpretation of messages; order and stock errors reaching the customer | Stage 1 gate: full system map and signed-off risk register required before any live testing                            |
| Uncertain data residency and divergent privacy regimes across partner jurisdictions             | Regulatory exposure; blocked cross-border flows; loss of partner confidence         | Stage 3 gate: encryption in transit and at rest, documented residency register, security audit pass                    |
| Unbounded growth of consumption-based charges during demand peaks                               | Budget overrun in peak trading periods; erosion of the migration business case      | Stage 5 gate: agreed budget envelope, monthly cost review, quarterly re-forecast                                       |
| Partner connection failure during cut-over from the legacy system                               | Interrupted or lost order flow; partner attrition during the transition             | Stage 4 gate: phased rollout by document type with parallel running until pilot results are approved                   |
| Internal capability gap in cloud monitoring, alerting and API operations                        | Slow incident response; message failures detected only after commercial impact      | Stage 4 and 5 gates: completion of role-based training as a gate criterion; managed-service cover during stabilisation |
| Vendor lock-in through weak exit and data-portability provisions                                | Loss of commercial leverage; high switching cost at contract renewal                | Stage 2 gate: data ownership, exit and portability clauses agreed before migration begins                              |

The study produced two results. The first is the stage-gated governance model set out in Table 1. Its contribution is not the enumeration of migration activities, which are broadly known, but the binding of each activity group to a single mandatory gate, an explicit pass criterion and one accountable role. This converts a migration programme into a sequence of five bounded commitments, each of which can be audited independently: at any point in the process it is determinate which gate the project has passed, what evidence was required to pass it, and who authorised it.

The second result is the risk classification matrix in Table 2. Its contribution lies in the third column. Existing treatments of cloud migration risk describe risks and, separately, describe governance processes; the matrix links them, so that every identified technical risk resolves to a named gate at which it is controlled. The classification also reformulates each risk in terms of its business consequence for the retailer rather than its technical manifestation alone, which makes the risk register usable by the commercial and legal functions that own three of the five gates. Taken together, Tables 1 and 2 constitute the organizational and managerial toolkit stated as the objective of this study: the first defines where decisions are made, the second defines what must be resolved at each decision point.

The functional consequences of the migrated architecture, observed across the projects examined, are consistent with this structure. Invoice matching operates without manual input, with the system comparing amounts and raising only genuine discrepancies; three-way matching across purchase orders, invoices and shipment notices proceeds automatically. Shipment status is available in real time to retailer and customer alike, and EDI data flows directly into store systems so that stock records remain consistent. Where live shipment data is fed into recommendation systems, an event-driven configuration becomes possible, in which items shipping ahead of schedule can be surfaced to buyers in the relevant delivery area.

These functional changes shift the character of EDI within the retail organisation. Staff effort moves from routine reconciliation to exception handling, and the data generated by the migrated system becomes available for operational decisions rather than only for record-keeping.

In cross-border operations the same structure supports compliance with differing national requirements and absorbs seasonal demand growth without additional hardware procurement, provided that the residency and cost-control gates of the model are enforced.

## Discussion

The evidence available in the published literature and in industry reporting is used here to assess the plausibility and practical utility of the proposed toolkit. It is external evidence and is not presented as a result of this study; none of the figures cited below were produced by the present research.

Industry reporting indicates that automated reconciliation in cloud EDI environments is associated with reductions in invoice matching errors of up to 90 percent, that partner onboarding times of one to nine days are achievable with self-service connection tooling against four to twelve weeks in on-premises configurations, and that first-year cost reductions in the range of 40 to 60 percent have been reported following migration [3], [4]. A documented migration by a large golf equipment manufacturer records continuity of service throughout transition and onboarding reduced to nine days or less, achieved by running legacy and cloud systems in parallel during testing [7].

Market analyses place the EDI software segment at 2.3–2.6 billion US dollars in 2025 with projected growth to 4.5–7 billion by 2030–2032, the cloud share increasing throughout. These figures indicate the scale of the potential benefit; they do not by themselves establish that the benefit is attributable to governance quality, which is the limitation the present toolkit addresses.

The proposed model can be positioned against existing work in three respects. Cooper's Stage-Gate formulation supplies the decision-gate logic but was developed for new product development, where termination at a gate is an acceptable outcome [9], [10]; in EDI migration termination after partner cut-over is not available, which is why the model concentrates its irreversible steps behind the third and fourth gates. Risk-analytic treatments of cloud migration establish that qualitative methods are appropriate where probability data are not transferable between cases, and provide taxonomies of migration risk [11], [12]; these taxonomies are organised by risk type rather than by the point of managerial control, and the matrix in Table 2 supplies that mapping. Existing cloud governance frameworks specify control domains for steady-state operation [5], [6], whereas the present model addresses the transition itself, which is bounded in time and has a different accountability structure. The barriers to electronic data exchange reported in supply chain research — legacy incompatibility, inconsistent standards and organisational resistance — correspond to the first, fourth and fifth rows of the classification, which supports the completeness of the risk set at the level of its principal categories [2], [7].

Three limitations should be stated. The toolkit is derived from migrations in retail and logistics and its transferability to other sectors with different partner structures has not been tested. The risk classification is qualitative, so it establishes the presence and control point of each risk but not its relative magnitude in a given landscape. And the model has been applied by its author, so independent application by other migration teams remains necessary to establish that the gate criteria are interpretable without the author's involvement.

### **Practical considerations in applying the model**

The risks classified in Table 2 manifest in practice in the following ways, which also indicate how the corresponding gate criteria should be interpreted.

The most common problem is connecting older internal software to the new cloud system. Many retailers still use ERP or warehouse programs built years ago. These programs often work with different data formats or older protocols. Mapping and testing take extra time. If done too quickly, messages can be lost or read incorrectly [2]. The framework solves much of this by requiring a full system map early and approval gates before live testing starts.

Data security and compliance form another big concern. Retailers handle sensitive customer and supplier information. Privacy rules differ by country and change often [6]. Cloud platforms store data in various locations, so companies must know exactly where their information sits. Encryption in transit and at rest is necessary, but not enough by itself. Strict access controls and regular reviews are also required. Vendor agreements should include clear penalties if service levels are not met. The framework adds monthly safety checks to catch problems early.

Third, costs can rise faster than expected if they are not watched. Cloud services charge for actual usage, so big sales peaks can push bills higher [4]. The answer is to set clear budgets before migration and review them every three months after go-live. The ongoing monitoring pillar makes this a normal part of operations.

Fourth, some partners still need guidance during onboarding, even with self-service tools [7]. Standard templates and short training materials usually take nine days or less.

Fifth, the internal team often needs time to learn new skills in cloud monitoring, alerts, and API work. Short guides and practice sessions help close the gap. Some companies use managed services for the first six months while the team builds confidence.

Finally, depending too much on one vendor can create problems later [5]. Strong contract terms on exit procedures and data ownership, agreed at the beginning, reduce this risk.

In the coming years, simple artificial intelligence tools will probably improve matching and forecasting inside EDI systems [8]. These tools will strengthen personalisation, but they will also need extra checks on accuracy. The governance framework can be extended to cover them when the time comes.

The challenges are significant, yet they become manageable with a structured governance approach. The five-pillar approach turns potential weak points into controlled steps.

## Conclusion

Cloud-native EDI removes many of the constraints that on-premises systems placed on retailers. Companies gain real speed, greater scale, and lower costs. When migration follows the proposed governance framework. The shift eliminates legacy infrastructure barriers and lets retailers process millions of transactions daily with zero downtime and full scalability for global marketplaces.

The scientific contribution of the work lies in this mapping: migration governance and migration risk are treated as one instrument rather than two, so that the question 'who resolves this risk, and at which point' has a determinate answer for every risk in the set.

For retailers preparing for tomorrow's market, cloud-native EDI is more than a technical upgrade. It becomes a competitive advantage. Stores that make the move can grow faster in global markets, reduce errors, and deliver the fast and personal service that online buyers now expect. Automation of key tasks supplies correct information at the right moment, which supports better stock decisions, quicker deliveries, and stronger customer relationships.

For practice, it is recommended that retailers complete the stage-one assessment and sign off the risk register before entering vendor negotiations, since the contractual gate depends on knowing which risks must be allocated contractually; that progress be measured against the gate criteria rather than against elapsed time; and that the three- and six-month post-migration reviews be treated as formal gates rather than status reports.

Further work should test the transferability of the toolkit to sectors with different partner structures, and examine whether the gate criteria can be applied consistently by migration teams other than the author's. The extension of the classification to risks arising from the introduction of machine learning components into EDI matching and forecasting is a further direction, since such components introduce accuracy-assurance requirements that the present five gates do not yet address.

## References

1. Klapita V. Implementation of electronic data interchange as a method of communication between customers and transport company // *Transportation Research Procedia*. – 2021. – Vol. 53.
2. Werner-Lewandowska K., Kolinski A., Golinska-Dawson P. Barriers to electronic data exchange in the supply chain: results from empirical study // *LogForum*. – 2023. – Vol. 19, No. 1.
3. Mannava S.K. Optimizing EDI integration: a guide to cloud-based systems and business efficiency // *International Journal of Computer Engineering and Technology*. – 2025. – Vol. 16, No. 1.
4. Hosseini Shirvani M., Amin G.R., Babaeikiadehi S. A decision framework for cloud migration: a hybrid approach // *IET Software*. – 2022. – Vol. 16, No. 6.
5. Folorunso A., Adewa A., Babalola O., Nwatu C.E. A governance framework model for cloud computing: role of AI, security, compliance, and management // *World Journal of Advanced Research and Reviews*. – 1982. – Vol. 24, No. 2.
6. Mazula D., Lamprecht C. Redefining enterprise cloud technology governance // *ISACA Journal*. – 2023. – Vol. 3.
7. Jain M. Analysis of electronic data interchange (EDI) adoption challenges and best practices in retail supply chains // *Journal of Global Research in Mathematical Archives*. – 2025. – Vol. 12, No. 12.
8. El Fellah K., El Azami I., El Makrani A. A comparative analysis of blockchain and electronic data interchange (EDI) in supply chain: identifying strengths, weaknesses, and synergies // *Journal of Autonomous Intelligence*. – 2024. – Vol. 7, No. 5. – Art. 1481.
9. Cooper R.G. Perspective: The Stage-Gate idea-to-launch process – update, what's new, and NexGen systems // *Journal of Product Innovation Management*. – 2008. – Vol. 25, No. 3.
10. Cooper R.G. What's next? After Stage-Gate // *Research-Technology Management*. – 2014. – Vol. 57, No. 1.
11. Zeng W., Yan W., Simpson E., Molina-Jimenez C. Quantitative risk assessment for cloud-based software migration processes // *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. – 2025. – Vol. 37, No. 4.
12. Valladares S., Ticona W. Information technology risk management due to the migration of infrastructure to cloud services: a systematic review // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2025. – Vol. 1559.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

# **UNIVERSUM: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Электронный научный журнал*

№ 9(150)

Сентябрь 2026 г.

Часть 6

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 – 54434 от 17.06.2013

Мнение авторов может не совпадать с позицией редакции.

Издание содержит научную информацию и в соответствии с ч. 4 ст. 1  
Федерального закона от 29.12.2010 № 436-ФЗ «О защите детей от информации,  
причиняющей вред их здоровью и развитию» не подлежит классификации  
(маркировке) по возрастным категориям

Издательство ООО «Юниверсум»

Объём издания: 76 с.

Минимальные системные требования: процессор с частотой от 1,3 ГГц; ОЗУ от  
512 МБ; программа для чтения PDF-файлов; доступ к сети Интернет

Дата размещения в сети Интернет: 28.09.2206

Журнал размещается в:

**CYBERLENINKA**

**e** НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
**LIBRARY.RU**

**Google**  
scholar

**ULRICHSWEB**  
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

**>BASE**

**СОЦИОНЕТ**

**OpenAIRE**



Registry of Open Access  
Repositories (ROAR)