

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2026. Т. 28. № 1. С. 238–248.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2026; 28 (1): 238–248.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 628.2:004.9

DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-238-248

EDN: RTCZIP

КОМПЛЕКСОТЕХНИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

Андрей Игоревич Мохов¹, Дмитрий Иванович Шлычков²,
Андрей Геннадьевич Челоненко³, Софья Владимировна Кондрашова²

¹Государственный университет «Дубна», г. Дубна, Россия

²Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет,
г. Москва, Россия

³Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Значительный износ трубопроводных сетей водоснабжения и канализации, ограниченность традиционных методов их эксплуатации требуют применения интегрированных подходов к управлению инженерной инфраструктурой. В этих условиях актуальной является разработка системотехнического и комплексотехнического подходов, основанных на объективной оценке эксплуатационного состояния и эффективности функционирования сетей.

Цель. Обосновать необходимость применения системотехнического и комплексотехнического подходов к обеспечению устойчивого функционирования трубопроводных се-

тей водоснабжения и канализации, а также совершенствование критериев оценки эффективности их эксплуатации на основе расчета гидравлических показателей.

Методы. В работе использованы методы системного анализа, классификации видов переустройства трубопроводных сетей по уровню потерь эксплуатационного ресурса, а также количественная гидравлическая оценка состояния труб с применением коэффициента гидравлической эффективности эксплуатации.

Результаты. Проанализированы традиционные технологии переустройства сетей и критерии оценки их эксплуатационного качества, включая коэффициент гидравлической эффективности. Предложены системотехнический и комплексотехнический подходы, основанные на принципах комплексной оценки технических, организационных, управленческих и экономических аспектов функционирования и развития сетей.

Выводы. Обоснована и доказана эффективность применения системотехнического и комплексотехнического подходов при управлении процессами переустройства и эксплуатации инженерных сетей. Аргументирована необходимость внедрения интеллектуальных технологий мониторинга и переустройства трубопроводов, а также отмечена целесообразность подготовки к проведению такого мониторинга специалистов эксплуатирующей организации.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии, канализационные и водопроводные сети, комплексотехнический подход, коэффициент гидравлической эффективности, переустройство трубопроводов, системотехнический подход, срок службы, эксплуатационное качество

Для цитирования: Мохов А.И., Шлычков Д.И., Челоненко А.Г., Кондрашова С.В. Комплексотехнический подход к обеспечению устойчивого развития инфраструктуры жилищно-коммунальных систем на примере эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения и канализации // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2026. Т. 28. № 1. С. 238–248. DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-238-248. EDN: RTCZIP

ORIGINAL ARTICLE

INTEGRATED ENGINEERING APPROACH TO STABLE DEVELOPMENT OF WATER SUPPLY AND SEWERAGE SYSTEMS

Andrei I. Mokhov¹, Dmitrii I. Shlychkov²,
Andrei G. Chelonenko³, Sof'ya V. Kondrashova²

¹Dubna State University, Dubna, Russia

²The National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia

³Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
Saint-Petersburg, Russia

Abstract. Purpose: To substantiate the need to apply systems and complex engineering approaches to ensure a stable development of water supply and sewerage systems, as well as the to improve criteria for evaluating the effectiveness of their operation based on the calculation of hydraulic indicators.

Methodology: Complex analysis, classification of pipeline networks, reconstruction according to the level of operational resource losses, quantitative hydraulic assessment of pipes using the coefficient of hydraulic operational efficiency.

Research findings: Traditional methods of the network reconstruction and criteria for assessing their operational quality, including the coefficient of hydraulic efficiency, are analyzed. Systems and complex engineering approaches are based on the comprehensive assessment of the technical, organizational, managerial and economic aspects of the functioning and development of networks.

Value: The effectiveness of applying systems and complex engineering approaches to the reconstruction and operation of engineering networks is substantiated and proved. The necessity of introducing intelligent technologies for monitoring and rebuilding pipelines is substantiated, as well as the need for training specialists in this field.

Keywords: intelligent technology, sewage and water supply network, integrated technical approach, hydraulic efficiency coefficient, pipeline reconstruction, system engineering approach, service life, operational quality

For citation: Mokhov A.I., Shlychikov D.I., Chelonenko A.G., Kondrashova S.V. Integrated Engineering Approach to Stable Development of Water Supply and Sewerage Systems. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2026; 28 (1): 238–248. DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-238-248. EDN: RTCZIP

Введение

Системотехника – это область науки и техники, которая изучает принципы, методы и средства проектирования, создания, функционирования и управления сложными системами различного назначения на протяжении всего их жизненного цикла.

Термин «системотехника» возник в 50-е гг. XX в. в связи с развитием теоретических и практических основ системного подхода к решению инженерных задач. Одним из основателей системотехники считается американский ученый и инженер Джейкоб Ремсдейл, который активно работал в области теории систем [1].

Системотехника как дисциплина стала развиваться в Советском Союзе в 1960-е гг., когда важность комплексного подхода в решении проблем управления сложными технологическими процессами стала очевидной.

Методологической основой системотехники строительства послужила общая теория функциональных систем, разработанная советским академиком Петром Кузьмичом Анохиным. Данная теория нашла широкое применение в различных областях науки и техники и оказала значительное влияние на формирование системного подхода как универсального инструмента исследования и проектирования сложных объектов. В строительстве данный подход приобретает особую значимость, поскольку строительные объекты и технологические процессы характеризуются многоуровневой структурой, сложной внутренней организацией и наличием многочисленных обратных связей. Эффективное проектирование таких систем требует учета не только параметров отдельных подсистем, но и характера их взаимодействия, влияния внешней среды и способности системы адаптироваться к изменяющимся условиям функционирования [2].

Благодаря интеграции принципов Анохина в инженерную практику стало возможным создавать модели, позволяющие прогнозировать поведение строительных систем, выявлять потенциальные риски, оценивать эффективность управленческих решений и оптимизировать технологические процессы. Такой подход усиливает научную обоснованность проектирования и способствует развитию более устойчивых, адаптивных и надежных инженерных решений [3].

Системотехника строительства – научно-техническая дисциплина, изучающая совокупность технических, организационных, управленческих, экономических и иных строительных систем, а также межсистемные связи, направленные на достижение конечного результата в строительной деятельности и обеспечение устойчивого функционирования строительных комплексов.

Устойчивое функционирование – это свойство системы сохранять работоспособность и обеспечивать выполнение заданных функций.

Практика градостроительного развития показывает, что устойчивый и сбалансированный рост жилищного строительства возможен лишь при условии опережающего развития инженерной инфраструктуры [4].

Особенностью инженерной инфраструктуры является сервисный характер ее функционирования. В отличие от зданий и сооружений, которые обладают самостоятельной ценностью и предназначены для непосредственного пользования, инженерные сети имеют прикладное назначение: они создаются для обеспечения ресурсами и услугами конечных потребителей – жилых домов, производственных объектов, объектов социальной сферы. Инфраструктура не существует сама по себе; ее смысл определяется способностью поддерживать бесперебойное функционирование городской среды и формировать условия для устойчивого градостроительного развития. Поэтому ее развитие не является самоцелью, а выполняет обслуживающую, прикладную роль – создание условий для нормальной эксплуатации уже имеющихся объектов и для застройки новых территорий [5].

Протяженность трубопроводных сетей в Российской Федерации значительна, что обусловлено масштабами территории страны. Более чем в 20 тыс. муниципальных образований здания и сооружения характеризуются высоким уровнем инженерного благоустройства [6], при этом:

- 84 % оборудованы централизованной системой водоснабжения;
- 82 % оборудованы централизованной системой канализации.

Несмотря на это, функционирование инженерных сетей во многих случаях сопровождается низким качеством коммунальных услуг, нерациональным использованием природных ресурсов и негативным воздействием на окружающую среду.

К основным причинам сложившейся ситуации относятся высокий уровень физического износа основных фондов, моральное и технологическое устаревание объектов инженерной инфраструктуры, недостаточная эффективность существующей системы управления коммунальным хозяйством, а также недооценка роли комплексного городского планирования.

По данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), общий износ водопроводных сетей составляет 43 % (251 тыс. км из 584 тыс. км), сетей канализации – превышает 46 % (93 тыс. км из 203 тыс. км).

Методы

Водопроводные и канализационные трубопроводы являются системными объектами, в отношении которых на постоянной основе необходимо принимать организационно-технологические решения, направленные на компенсацию недостатков, выявленных на каком-либо этапе жизненного цикла.

В отношении сетей водопровода и канализации принято использовать традиционные технологии переустройства: ремонт, реновацию и реконструкцию, направленные на восстановление и сохранение эксплуатационного качества (табл. 1).

Таблица 1

Технология переустройства канализационных сетей

Table 1

Reconstruction of water supply and sewerage systems

Объект переустройства	Виды переустройства		
	Ремонт	Реновация	Реконструкция
Водопроводные сети	+	+	+
Канализационные сети	+	+	+

Ресурс, заложенный в объект на стадиях проектирования и строительства, постепенно исчерпывается в процессе эксплуатации.

В зависимости от степени утраты функционального ресурса возможно классифицировать виды переустройства инженерных сетей (рис. 1).

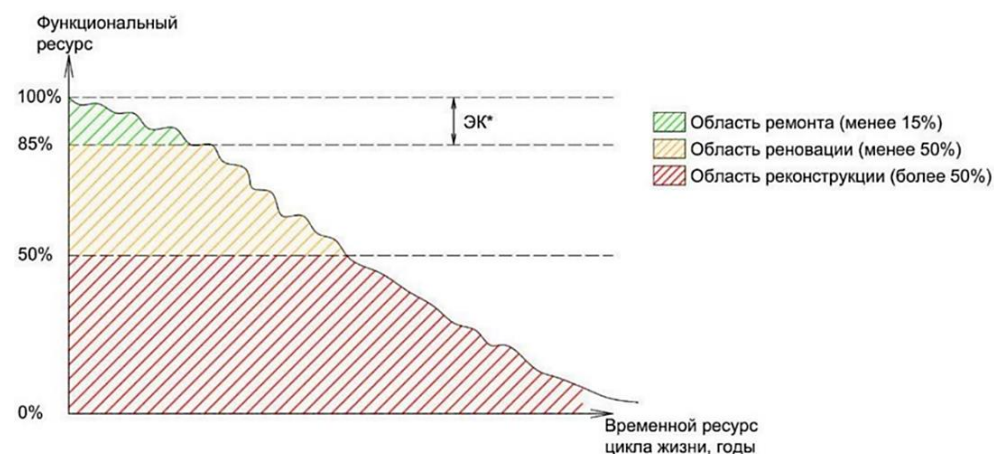


Рис. 1. Виды переустройства на основе потерь функционального ресурса (ЭК* – заданный уровень эксплуатационного качества)

Fig. 1. Types of reorganization based on the functional resource loss (EK* – specified level of operational quality)

Больше 50 % потерь ЭК попадает в область реконструкции, меньше 50 % – в область реновации, меньше 15 % – в область ремонта.

Переустройство объекта можно выполнять на этапе жизненного цикла.

Заданный уровень ЭК находится в диапазоне от 85 до 100 %.

Допускается выполнять ремонтные работы без нарушения функционирования объекта.

Оценку эксплуатационного качества можно проводить по критериям гидравлической эффективности эксплуатации.

Критерий оценки эксплуатационного состояния водопроводных и канализационных сетей (коэффициент эффективности эксплуатации $K_{эф}$) получен на основании допустимых параметров гидравлического потенциала труб (скорость V , потери напоры на водопроводных сетях i , гидравлический уклон i канализационных сетей). Данный коэффициент получен на основании аналитических расчетов и методологического подхода. Подобный подход дает возможность предсказывать динамику изменения параметров гидравлического потенциала труб на протяжении всего срока их эксплуатации. В результате это позволяет заранее, до проведения гидродинамической очистки или полной замены трубопроводов, определить необходимость таких мероприятий. В будущем планируется разработка специальных таблиц для гидравлического расчета в зависимости от коэффициента эффективности эксплуатации. Количественная оценка продолжительности периода остаточной эффективной эксплуатации изношенных трубопроводов систем водоснабжения и канализации – это **новое научное направление** в науке о трубопроводах. Разработана и внедрена на практике методика, обеспечивающая возможность определение временного периода остаточной продолжительности эксплуатации изношенных сетей водоснабжения и канализации с внутренними отложениями по величине значения универсального критерия – **коэффициента гидравлической эффективности эксплуатации изношенной сети**, объективно учитывающего фактическое состояние ее рабочей поверхности труб с отложениями на внутренних стенках, определяемый по формуле

$$K_{эф} = \frac{(d_{вн}^p)^2 V_p \cdot i_p}{(d_{вн}^ф)^2 V_ф \cdot i_ф}, \quad (1)$$

где $K_{эф}$ – безразмерный коэффициент гидравлической эффективности эксплуатации трубопровода (труб); $d_{вн}^p$, V_p и i_p – расчетные параметры новых труб в соответствии с государственными стандартами (рис. 2); $d_{вн}^ф$, $V_ф$ и $i_ф$ – фактические параметры трубопровода с учетом внутренних отложений (рис. 3).

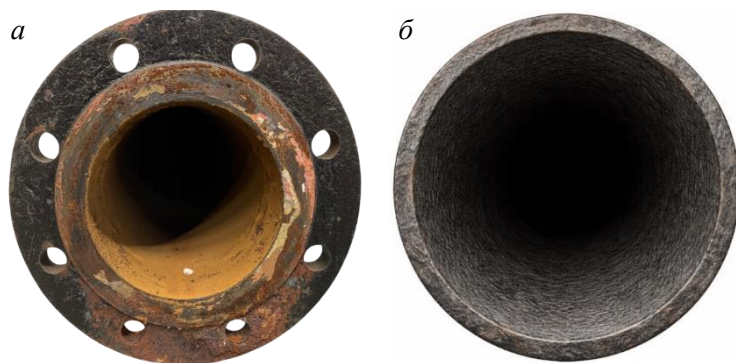


Рис. 2. Новые трубопроводы:
а – водоснабжения; б – канализации
Fig. 2. New pipelines:
a – water supply; b – sewerage

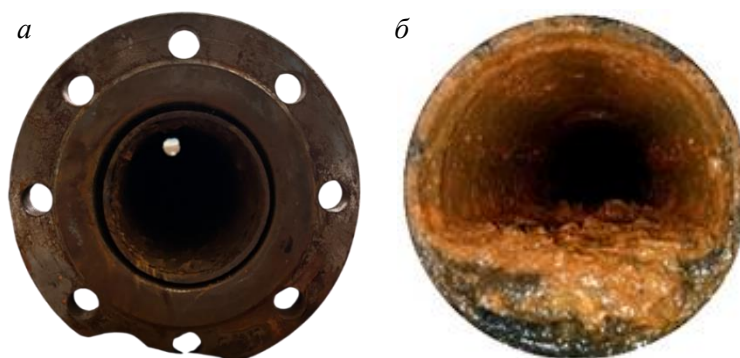


Рис. 3. Эксплуатируемые трубопроводы:
 а – водоснабжения; б – канализации
 Fig. 3. Pipelines in operation:
 а – water supply; б – sewerage

Количественная оценка продолжительности периода остаточной эффективной эксплуатации изношенных трубопроводов систем водоснабжения и канализации – это новое научное направление в науке о трубопроводах. Разработанная и внедренная на практике методика, обеспечивающая возможность определения временного периода остаточной продолжительности эксплуатации изношенных сетей водоснабжения и канализации с внутренними отложениями по величине значения универсального критерия – коэффициента гидравлической эффективности эксплуатации изношенной сети, объективно учитывающего фактическое состояние рабочей поверхности труб с отложениями на внутренних стенках.

Результаты

Диапазон изменения $K_{эф}$ водопроводных сетей представлен в табл. 2.

Таблица 2

Диапазон изменения $K_{эф}$ для сетей водоснабжения

Table 2

Range of hydraulic efficiency coefficient for water supply systems

Значение величины $K_{эф}$	Продолжительность периода остаточной эксплуатации трубопровода из стали и серого чугуна $T_{исп}$, лет
$0,95 \leq K_{эф} \leq 1$	$T_{исп} \geq 5$ лет с ежегодным контролем значений фактических потерь напора $i_{ф}$ и толщины фактического слоя отложений $\delta_{ф}$
$0,90 \leq K_{эф} \leq 0,95$	$T_{исп} \geq$ не менее 1 года с ежегодным контролем значений $i_{ф}$ и $\delta_{ф}$
$0,80 \leq K_{эф} \leq 0,90$	Трубопровод эксплуатировать нецелесообразно
$K_{эф} < 0,80$	Трубопровод эксплуатировать недопустимо

Для канализационных сетей расчетные значения коэффициента изменяются в диапазоне от 0 (при значительных отложениях в лотковой части трубы) до 1 (для новых труб), что отражено в табл. 3.

Таблица 3

Диапазон изменения $K_{эф}$ для сетей канализации

Table 3

Range of hydraulic efficiency coefficient for sewerage systems

Значение величины $K_{эф}$	Возможность продолжения дальнейшей эксплуатации сети
$0,6 \leq K_{эф} \leq 1$	Возможно
$0,5 \leq K_{эф} \leq 0,6$	Требуется проведение гидродинамической очистки сети
$K_{эф} \leq 0,5$	Сеть эксплуатировать недопустимо

Необходимость создания интеллектуальных технологий переустройства водопроводных и канализационных сетей обусловлена комплексной задачей обеспечения гидравлической эффективности, устойчивого функционирования, экономии ресурсов, минимизации аварийных ситуаций и интеграции с современными цифровыми системами управления городской инфраструктурой [8, 9].

В настоящее время $K_{эф}$ не является интеллектуальной технологией переустройства, потому что достижение конечного положительного результата возможно путем объединения целей, интегрированных в деятельность, связанную с эксплуатацией сетей. Процесс эксплуатации необходимо рассматривать с позиции технического, организационного, управленческого и экономического аспектов [10].

Заключение

Все вышеизложенное позволяет сформулировать принципы создания интеллектуальной технологии переустройства водопроводных и канализационных сетей.

Технология переустройства должна опираться на данные интеллектуального мониторинга, обеспечивающего глубокий анализ состояния объекта и его элементов, а также на требуемый уровень подготовки субъектов, реализующих переустройство и проводящих эксплуатацию объекта. Применение интеллектуальных методов предполагает восстановление и улучшение функционала сразу нескольких элементов комплексного объекта переустройства.

Такая технология должна иметь многоцелевую направленность и ориентироваться на три приоритетных результата: ресурсосбережение (цель № 1), повышение безопасности функционирования объекта на этапе его эксплуатации (цель № 2) и повышение комфортности эксплуатации объекта (цель № 3).

Для достижения поставленных целей и определения дальнейших направлений исследования авторы предлагают использовать комплексотехнический подход [11]. Он охватывает как технические, так и организационные аспекты эксплуатации водопроводных и канализационных трубопроводов.

В отличие от системотехники, ориентированной на объединение систем с одинаковыми целями функционирования, комплексотехника в процессе проектирования, создания и развития соединяет системы с противоположными целями при объединении их жизненных циклов.

Комплексотехнический подход предполагает участие в эксплуатации трубопроводов специалистов, учитывающих изменение эффективности эксплуатации во времени с учетом конкретных условий для различных труб (из стали и чугуна), в том числе как для внутренних, так и для наружных сетей, и принимающих решения о применении конкретной технологии переустройства сети.

Примером подтверждения актуальности применения такого подхода можно считать подготовку проекта стандарта ГОСТ Р «Зеленый капитальный ремонт зданий и сооружений»¹, проходящего в настоящее время этап общественных обсуждений.

Применение системотехнического и комплексотехнического подходов в целях обеспечения устойчивого функционирования водопроводных и канализационных трубопроводов и развития технологий эксплуатации этих объектов призвано превратить их в единый интеллектуальный и управляемый организм.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Семечкин А.Е. Системный анализ и системотехника. Москва : SvS-Аргус, 2005. 536 с.
2. Анохин П.К. Избранные труды. Философские аспекты теории функциональной системы. Москва : Наука. 1978.
3. Лапкин М.М., Кирюшин В.А., Козеевская Н.А. П.К. Анохин – создатель теории функциональной системы (к 120-летию со дня рождения академика Петра Кузьмича Анохина) // Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова. 2018. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/p-k-anohin-sozdatel-teorii-funktsionalnoy-sistemy-k-120-letiyu-so-dnya-rozhdeniya-akademika-petra-kuzmicha-anohina> (дата обращения: 10.12.2025).
4. Король Е.А., Дудина А.Г., Петросян Р.С. Систематизация понятийного аппарата технологичности строительных систем в научно-методической литературе // Жилищное строительство. 2024. № 7. С. 32–37.
5. Король Е.А., Дудина А.Г., Петросян Р.С. Вариативные подходы к оценке технологичности при производстве работ по устройству строительных систем // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. № 3. С. 119–130.
6. Король Е.А., Римшин В.И. Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. Эксплуатация инженерных сетей, систем и оборудования. Москва : Изд-во АСВ, 2023. 406 с.
7. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Челоненко А.Г. Классификация состояния канализационных сетей по толщине слоя осадка в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 96–104. DOI: 10.21285/2227-2917-2024-1-96-104
8. Теличенко В.И., Король Е.А., Каган П.Б., Куликова Е.Н. Системотехника управления целевыми строительными программами. Москва : Изд-во АСВ, 2010. 224 с.
9. Гусаков А.А., Богомолов Ю.М., Брехман А.И., Ваганян Г.А. Системотехника строительства : энциклопедический словарь. Москва : Изд-во АСВ, 2004. 319 с.
10. Информационные модели функциональных систем. Москва : Фонд «Новое тысячелетие», 2004. С. 7–114.
11. Мохов А.И. Отличие в подходе системотехники и комплексотехники к созданию технических систем // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2011. Т. 7. № 1. С. 3–7.

REFERENCES

1. Semechkin A.E. System Analysis and System Engineering. Moscow: SvS–Argus, 2005. 536 p. (In Russian)

¹ Проект ГОСТ Р «Зеленый капитальный ремонт зданий и сооружений» разработан на основании Программы национальной стандартизации, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) № 2459 от 01 ноября 2021 г. Шифр темы 1.0.366-1.051.24 (рукопись).

2. Anokhin P.K. Selected Papers. Philosophical Aspects of the Functional System Theory. Moscow: Nauka, 1978. (In Russian)
3. Lapkin M.M., Kiryushin V.A., Kozeevskaya N.A. P.K. Anokhin, a Creator of the Theory of a Functional System (dedicated to the 120th anniversary of the birth of Academician Peter Kuzmich Anokhin). *Rossiiskii mediko-biologicheskii vestnik im. akad. I.P. Pavlova*. 2018; (1). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/p-k-anohin-sozdatel-teorii-funktsionalnoy-sistemy-k-120-letiyu-so-dnya-rozhdeniya-akademika-petra-kuzmicha-anohina> (In Russian)
4. Korol E.A., Dudina A.G., Petrosyan R.S. Systematization of Conceptual Apparatus for Technological Efficiency of Construction Systems in Scientific and Methodological Literature. *Zhishchnoye stroitel'stvo*. 2024; (7): 32–37. (In Russian)
5. Korol E.A., Dudina A.G., Petrosyan R.S. Variable Approaches to Assessing Manufacturability of Construction Systems. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. 2024; 14 (3): 119–130. (In Russian)
6. Korol E.A., Rimshin V.I. Operation of Engineering Networks, Systems and Equipment. *Ekspluatatsiya inzhenernykh setei, sistem i oborudovaniya*. Moscow: ASV. 2023. 406 p. (In Russian)
7. Prodous O.A., Shlychkov D.I., Chelonenko A.G. Classification of Sewer Networks by Sediment Layer Thickness in Trough Part of Pipes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2024; 14 (1): 96–104. DOI: 10.21285/2227-2917-2024-1-96-104 (In Russian)
8. Telichenko V.I., Korol E.A., Kagan P.B., Kulikova E.N. System Engineering of Target Construction Management Programs. Moscow: DIA, 2010. 224 p. (In Russian)
9. Gusakov A.A. (Ed.), Bogomolov Yu.M., Brekhman A.I., Vaganyan G.A. System Engineering of Construction. Encyclopedia. Dictionary. 2nd edn. Moscow, 2004. 319 p. (In Russian)
10. Sudkov K.V., Gusakov A.A. (Eds.). Information Models of Functional Systems. Moscow: Novoe tysyacheletie, 2004. Pp. 7–114. (In Russian)
11. Mokhov A.I. Different System and Complex Engineering Approaches to Creation of Engineering Systems. *Elektrotehnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy*. 2011; 7 (1): 3–7. (In Russian)

Сведения об авторах

Мохов Андрей Игоревич, докт. техн. наук, профессор, Государственный университет «Дубна», 141982, г. Дубна, ул. Университетская, 19, anmokhov@mail.ru

Дмитрий Иванович Шлычков, канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26. SHlyichkovDI@mgsu.ru

Челоненко Андрей Геннадьевич, аспирант, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, andreicelonenco@mail.ru

Кондрашова Софья Владимировна, магистрант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, sonyakondrashova2002@gmail.com

Authors details

Andrey I. Mokhov, DSc, Professor, Dubna State University, 19, Universitetskaya Str., 141982, Moscow, Dubna, Russia, anmokhov@mail.ru

Dmitriy I. Shlychkov, PhD, A/Professor, The National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavl'skoe Road, 129337, Moscow, Russia. SHlyichkovDI@mgsu.ru

Andrey G. Chelonenko, Research Assistant, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskii Ave., 190031, Saint-Petersburg, Russia, andreicelonenco@mail.ru

Sofya V. Kondrashova, Graduate Student, The National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavl'skoe Road, 129337, Moscow, Russia. sonyakondrashova2002@gmail.com

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 17.12.2025
Одобрена после рецензирования 14.01.2026
Принята к публикации 30.01.2026

Submitted for publication 17.12.2025
Approved after review 14.01.2026
Accepted for publication 30.01.2026