

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

# **ВЕСТНИК**

**ЛУГАНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**№ 2 (3)  
2025**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Издательство ЛГУ им. В. Даля  
Луганск  
2025**

# ВЕСТНИК

ЛУГАНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

№2 (3) 2025

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ОСНОВАН В 2015 ГОДУ  
ВХОДИТ В БАЗУ РИНЦ

Учредитель  
ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет  
имени Владимира Даля»

# VESTNIK

LUGANSK  
VLADIMIR DAHL  
STATE UNIVERSITY

№ 2 (3) 2025

THE SCIENTIFIC JOURNAL  
WAS FOUNDED IN 2015  
INCLUDED INTO THE BASE OF RISC

Founder

LSU NAMED AFTER V. DAHL

Входит в базу данных Российского индекса научного цитирования  
(Лицензионный договор № 77-04/2025)

## Главный редактор

*Киреев Андрей Николаевич*, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

## Ответственный секретарь

*Чижевская Дарья Юрьевна*, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

## Редакционная коллегия серии:

*Антощенко Николай Иванович*, д-р.техн.наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

*Батышев Константин Александрович*, д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

*Беляев Сергей Владимирович*, д-р техн. наук (СФУ, Красноярск)

*Дайнека Иннеса Григорьевна*, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

*Зубков Виктор Егорович*, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

*Ленич Сергей Васильевич*, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

*Семенов Константин Геннадьевич*, д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

*Сёмин Дмитрий Александрович*, д-р.техн.наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

*Тарарычkin Игорь Александрович*, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

*Турушина Наталья Владимировна*, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

*Филатьев Михаил Владимирович*, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

*Чижевская Дарья Юрьевна*, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

*Энглези Ирина Павловна*, д-р техн. наук (ДАТ, Донецк, ДНР)

Рекомендовано в печать Ученым советом  
Луганского государственного университета имени Владимира Даля.  
(Протокол № 1 от 05.09.2025 г.)

© Авторы, 2025

© ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет  
имени Владимира Даля», 2025

**С О Д Е Р Ж А Н И Е****ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО**

ОПТИЧЕСКИЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ НАБОРА МАНИПУЛЯТОРНОЙ ПРОЧНОСТИ ОБОЛОЧЕЧНЫМ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫМ ЛИТЕЙНЫМ СТЕРЖНЕМ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

**Гутько Ю. И., Войтенко В. В., Медведчук С. А.** ----- 5

**ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ**

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ПАССАЖИРСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ ANYLOGIC

**Лучко М. И.** ----- 15

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ МОДУЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ: АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ

**Петров А. Г., Федорченко В. В.** ----- 21

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

**Таарычкін И. А., Ленич С. В.** ----- 29

**БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА**

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИХРЕВЫХ УСТРОЙСТВ

**Гусенцова Я. А., Дейнека И. Г., Понамаренко А. Н., Макаровская Л. В.** ----- 37

РАССМОТРЕНИЕ ВОПРОСА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОСЕТИТЕЛЕЙ ГЛЭМПИНГОВ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ И Г. СЕВАСТОПОЛЯ

**Матвеев В. А., Ничкова Л. А.** ----- 44

УПРАВЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫМ СРОКОМ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИЛЫХ ДОМОВ

**Родыгина М. М., Красногрудов А. В., Рожков И. Н., Щербак В. Н.** ----- 52

**CONTENTS****FOUNDRY****OPTICAL METHOD FOR MONITORING THE GAIN OF MANIPULATIVE  
STRENGTH OF SHELL CELLULOSE-LIQUID GLASS CASTING CORE DURING ITS  
MANUFACTURING PROCESS****Gutko Yu. I., Voytenko V. V., Medvedchuk S. A.**----- 5**TRANSPORT AND TRANSPORTATION TECHNOLOGICAL SYSTEMS  
OF THE COUNTRY, ITS REGIONS AND CITIES, ORGANIZATION  
OF PRODUCTION IN TRANSPORT****SIMULATION MODELING OF THE URBAN PASSENGER TRANSPORT  
NETWORK USING ANYLOGIC TOOLS****Luchko M. I.**----- 15**ROBOTIZED MODULAR COMPLEXES FOR URBAN ENVIRONMENT  
MAINTENANCE: EFFICIENCY ANALYSIS AND IMPLEMENTATION PROSPECTS****Petrov A. G., Fedorchenko V. V.**----- 21**ECOLOGICAL EFFICIENCY OF ROAD TERMINAL TRANSPORTATION****Tararychkin I. A., Lenich S. V.**----- 29**LABOR SAFETY****IMPROVING THE RELIABILITY OF FLOW CONTROL SYSTEMS  
FOR VENTILATION SYSTEMS USING VORTEX DEVICES****Gusentsova Ya.A., Deineka I.G., Ponamarenko A.N., Makarovskaya L.V.**----- 37**CONSIDERATION OF THE ISSUE OF FIRE SAFETY FOR VISITORS TO  
GLAMPINGS IN THE REPUBLIC OF CRIMEA AND THE CITY OF SEVASTOPOL****Matveev V. A., Nichkova L. A.**----- 44**MANAGEMENT OF THE RESIDUAL PERIOD OF SAFE  
OPERATION OF RESIDENTIAL BUILDINGS****Rodygina M.M., Krasnogrudov A.V., Rozhkov I.N., Shcherbak V.N.**----- 52

## ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.743.45

### ОПТИЧЕСКИЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ НАБОРА МАНИПУЛЯТОРНОЙ ПРОЧНОСТИ ОБОЛОЧЕЧНЫМ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫМ ЛИТЕЙНЫМ СТЕРЖНЕМ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Гутько Ю. И., Войтенко В. В., Медведчук С. А.

### OPTICAL METHOD FOR MONITORING THE GAIN OF MANIPULATIVE STRENGTH OF SHELL CELLULOSE-LIQUID GLASS CASTING CORE DURING ITS MANUFACTURING PROCESS

Gutko Yu. I., Voytenko V. V., Medvedchuk S. A.

**Аннотация.** Предлагается новый способ контроля набора прочности оболочечным целлюлозно-жидкостекольным литейным стержнем, основанный на экспериментально установленных корреляционных зависимостях цветового состава цифровых изображений внутренней поверхности оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня, а также на полученных по результатам эксперимента регрессионных моделях. Путем анализа цифрового изображения внутренней поверхности оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня определяется массовая доля связующего вещества – жидкого стекла – в исходной целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси, а также пределы прочности оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня при растяжении, сжатии и изгибе. Предложенный оптический способ контроля, использующий полученные регрессионные модели, удобен для осуществления текущего контроля фактического расхода органического либо неорганического связующего вещества, непосредственно оказывающего влияние на манипуляторную прочность и максимальную прочность оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня. Исследуются возможности стержневой технологии изготовления оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней. Исследуются физико-технические свойства оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней при различной массовой доле жидкого стекла в целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси, а также при различной толщине оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня, такие как манипуляторная прочность оболочки, пределы прочности оболочки при растяжении, изгибе и сжатии, термическая стойкость, выбиваемость из отливок, и даются рекомендации для практического применения оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней в литейном производстве при литье сплавов черных и цветных металлов. Выполняется сравнительный анализ физико-технических свойств оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня с объемным песчано-жидкостекольным литейным стержнем и песчаным литейным стержнем, изготовленным по V-процессу, показываются преимущества оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных

стержней, внутренняя оболочка которых заполнена сухим формовочным кварцевым песком либо сухой оборотной смесью.

**Ключевые слова:** оболочечный целлюлозно-жидкостекольный литьевой стержень, связующее вещество, формовочный кварцевый песок, цифровое изображение, цветовая компонента.

**Abstract.** This article proposes a new method for monitoring the strength gain of cellulose-water glass shell cores. This method is based on experimentally established correlations between the color composition of digital images of the inner surface of the cellulose-water glass shell core, as well as regression models derived from the experimental results. By analyzing the digital image of the inner surface of the cellulose-water glass shell core, we determine the mass fraction of the binder–water glass – in the initial cellulose-water glass core mixture, as well as the tensile, compressive, and bending strengths of the cellulose-water glass shell core. The proposed optical control method, using the obtained regression models, is suitable for ongoing monitoring of the actual consumption of organic or inorganic binders, which directly impact the handling strength and maximum strength of cellulose-water glass shell casting cores. The potential of core technology for the production of cellulose-water glass shell casting cores is explored. The article studies the physical and technical properties of shell cellulose-liquid glass casting cores with different mass fractions of liquid glass in the cellulose-liquid glass core mixture, as well as with different thicknesses of the shell of the shell cellulose-liquid glass casting core, such as the handling strength of the shell, the ultimate strength of the shell under tension, bending and compression, thermal resistance, knockout from castings, and gives recommendations for the practical use of shell cellulose-liquid glass casting cores in foundry production when casting ferrous and non-ferrous metal alloys. This paper compares the physical and technical properties of a cellulose-water glass shell core with a bulk sand-water glass core and a sand core manufactured using the V-process. The advantages of cellulose-water glass shell cores filled with dry molding quartz sand or dry recycled sand are demonstrated.

**Key words:** cellulose-water glass shell core, binder, molding quartz sand, digital image, color component.

**Введение.** Для удовлетворения запросов современного производства непрерывно совершенствуются методы литья, такие как литье под давлением, литье в песчаные формы, литье по выплавляемым моделям, непрерывное литье [1]. Стремительное развитие литейных технологий сопровождается не менее стремительным усовершенствованием существующих и внедрением новых стержневых процессов. Песчаные литейные стержни традиционных составов, изготовленные по получившим широкое распространение в литейном производстве стержневым процессам, уже не могут в полной мере удовлетворить

современные требования по физико-техническим характеристикам, качеству, технологичности, энергозатратам, ресурсам, безвредности и экологичности литьевого производства [2-4]. Возобновляется интерес к стержневым процессам, не входящим по распространенности в мире в число лидеров, благодаря их значительному потенциалу для дальнейшего усовершенствования. К ним можно отнести стержневые процессы на неорганических связующих веществах, как новых, так и традиционных [5-7]. Отдельный интерес представляет V-процесс, в котором оболочка песчаного литейного стержня

изготавливается из эластичных полимерных пленок с применением вакуумного формообразования. Такой литейный стержень благодаря вакуумному упрочнению сухого формовочного кварцевого песка, находящегося в оболочке, форма которой повторяет форму внутреннего пространства вакуумированного стержневого ящика специальной конструкции, обладает отличной выбиваемостью, так как формовочный кварцевый песок свободно под действием силы тяжести освобождает отливку после застывания металла при ее извлечении из литейной формы. Недостатком V-процесса является сложность изготовления песчаных литейных стержней сложной формы, а также малая термическая стойкость применяемых для формирования оболочки песчаного литейного стержня эластичных полимерных пленок. Песчано-жидкостекольные литейные стержни обладают отличной термической стойкостью поверхности стержня к расплаву благодаря физико-техническим свойствам связующего вещества – жидкого стекла, однако они имеют удовлетворительную выбиваемость и сравнительно длительный процесс изготовления [8-10].

Предварительные исследования, проведенные авторами, показывают, что путем комбинирования песчано-жидкостекольного стержневого процесса и V-процесса может быть получен новый стержневой процесс. Песчаные литейные стержни, изготовленные по новому стержневому процессу, будут обладать достоинствами, которые обеспечивают оба исходных стержневых процесса. Опыты показали, что измельченный формовочный кварцевый песок может быть использован

как основной компонент песчано-жидкостекольной стержневой смеси, применяемой для изготовления оболочки литейного стержня, которая потом заполняется обычным сухим формовочным песком. Измельчение формовочного кварцевого песка необходимо для придания песчано-жидкостекольной стержневой смеси требуемой консистенции, необходимой для нанесения на внутреннюю поверхность стержневых ящиков из пластмассы либо резины, для облегчения извлечения из них оболочечных песчано-жидкостекольных литейных стержней. Такая оболочка впоследствии через технологические отверстия заполняется сухим формовочным кварцевым песком либо сухой оборотной смесью. Также рассматривалось применение армирующих добавок к песчано-жидкостекольной стержневой смеси для изготовления оболочечных песчано-жидкостекольных литейных стержней, для получения качественных оболочек с толщиной стенки менее 5 мм. Однако в процессе экспериментальных исследований различных рецептур стержневых смесей для изготовления оболочечных литейных стержней, заполняемых сухим формовочным кварцевым песком либо сухой оборотной смесью, было установлено, что целлюлоза в виде набухшего пульперкартона может быть успешно применена для изготовления оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней, внутреннее пространство оболочки которых заполняется сухим формовочным кварцевым песком либо сухой оборотной смесью. К тому же технология изготовления изделий сложной формы из пульперкартона хорошо отработана и широко распространена в мире, достаточно

лишь вместо используемых kleевых составов, добавляемых в набухший пульперкартон, использовать в качестве связующего вещества жидкое стекло, которое обеспечит необходимую манипуляторную и окончательную прочность оболочечным целлюлозно-жидкостекольным литейным стержням, а также требуемую термическую стойкость оболочки к воздействию расплава. Для бездефектного извлечения оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней из стержневых ящиков требуется контроль набора прочности с целью управления скоростью стержневого процесса. Такой контроль может быть осуществлен путем применения современного оптического способа контроля, основанного на обработке цифрового изображения внутренней контролируемой поверхности оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней в стержневых ящиках. Проведение исследований в этом направлении является актуальной научно-технической задачей.

**Целью** работы является установление корреляционных зависимостей между физико-техническими параметрами оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней в процессе их изготовления и параметрами цифрового изображения контролируемой внутренней поверхности оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней в стержневых ящиках, а также разработка оптического способа контроля набора прочности.

**Материалы и методы.** Для изготовления оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней приготавливалась целлюлозно-жидкостекольная стержневая смесь, в

состав которой в качестве основного компонента входила пульпа, представляющая собой увлажненный пульперкартон после варки, а также связующее вещество – жидкое стекло. Компоненты перемешивались для достижения равномерного распределения связующего вещества по объему пульпы, после чего целлюлозно-жидкостекольная стержневая смесь наносилась равномерным слоем заданной толщины на нагретую до 85...90°C поверхность стержневых ящиков, изготовленных из алюминия. При контакте с нагретой рабочей поверхностью стержневого ящика, продуваемого нагретой смесью воздуха и углекислого газа, используемого в качестве отвердителя связующего вещества – жидкого стекла, целлюлозно-жидкостекольная стержневая смесь теряла часть влаги и затвердевала, набирая прочность. Цифровое изображение внутренней поверхности равномерного слоя оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня раскладывалось на цветовые компоненты, изменение которых регистрировалось в течение времени набора прочности оболочечным целлюлозно-жидкостекольным стержнем. Образцы оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней, изготовленные из целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси с различной массовой долей жидкого стекла от 5 до 15 масс. %, извлекались в разные моменты времени из стержневых ящиков и проходили испытания на предел прочности при растяжении, сжатии и изгибе на установке для испытаний на прочность. Исследовалась корреляция между зависимостью прочности оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней и цветовыми компонентами

цифрового изображения внутренней поверхности оболочки оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней. Строились регрессионные модели для дальнейшего использования в оптическом способе контроля манипуляторной прочности оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней для целлюлозно-жидкостекольных стержневых смесей с различной массовой долей связующего вещества – жидкого стекла.

**Результаты и обсуждения.** Измерение пределов прочности оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней при растяжении, сжатии и изгибе показали, что значения пределов прочности оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней определяются массовой долей связующего вещества, находящейся в диапазоне 5...15 масс. % в целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси, при этом необходимое для получения манипуляторной и окончательной прочности количество отвердителя – углекислого газа – зависит от состава используемого связующего вещества – жидкого стекла. Следовательно, массовая доля связующего вещества – жидкого стекла – в целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси однозначно определяет прочность оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней.

В ходе экспериментов получена регрессионная модель, отражающая зависимость массовой доли связующего вещества – жидкого стекла – в целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси от среднего значения цветовой компоненты или яркости цифрового изображения внутренней поверхности оболочки

оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней:

$$M(J) = a + b \cdot J + c \cdot J^2, \quad (1)$$

где  $M$  – массовая доля связующего вещества в стержневой смеси, %;  $J$  – среднее значение цветовой компоненты или яркости цифрового изображения внутренней поверхности оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня в диапазоне от 0 до 255;  $a$ ,  $b$  и  $c$  – коэффициенты регрессионной модели.

Также получена регрессионная модель, отражающая зависимость значения предела прочности песчаного литейного стержня при растяжении, сжатии или изгибе от среднего значения цветовой компоненты или яркости цифрового изображения внутренней поверхности оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня:

$$G(J) = d + e \cdot J + f \cdot J^2, \quad (2)$$

где  $G$  – значение предела прочности литейного стержня при растяжении, сжатии или изгибе, МПа;  $J$  – среднее значение цветовой компоненты или яркости цифрового изображения внутренней поверхности оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня в диапазоне от 0 до 255;  $d$ ,  $e$  и  $f$  – коэффициенты регрессионной модели.

В табл. 1 приведены значения пределов прочности экспериментальных образцов оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней при растяжении, сжатии и изгибе. В табл. 2 приведены коэффициенты регрессионной модели (1), отражающей зависимость массовой доли связующего вещества –

жидкого стекла – в исходной целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси от среднего значения цветовой компоненты или яркости цифрового изображения внутренней поверхности оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня. В табл. 3 приведены коэффициенты регрессионной модели (2), отражающей

зависимость значения предела прочности оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня при растяжении, сжатии и изгибе от среднего значения цветовой компоненты или яркости цифрового изображения внутренней поверхности оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня.

Таблица 1

**Пределы прочности образцов оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня при растяжении, сжатии и изгибе**

Связующее вещество, масс. %	Растяжение, МПа	Сжатие, МПа	Изгиб, МПа
5	0,149	0,333	0,590
10	0,328	0,586	1,120
15	0,863	1,792	1,312

Таблица 2

**Коэффициенты регрессионной модели (1)**

Цветовая компонента	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Красный	265,82	-4,73	0,02
Зеленый	156,97	-2,97	0,01
Синий	102,53	-2,61	0,02
Яркость	229,25	-4,52	0,02

Таблица 3

**Коэффициенты регрессионной модели (2)**

Цветовая компонента	Растяжение			Сжатие			Изгиб		
	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
Красный	314,79	-5,45	0,02	662,88	-11,45	0,05	-252,89	4,17	-0,02
Зеленый	145,17	-2,68	0,01	305,05	-5,64	0,03	-63,02	1,09	0,00
Синий	149,92	-3,72	0,02	315,03	-7,80	0,05	-160,03	3,75	-0,02
Яркость	199,04	-3,88	0,02	418,12	-8,17	0,04	-68,18	1,24	-0,01

Полученные регрессионные модели (1) и (2) являются основой предложенного оптического способа контроля массовой доли связующего вещества – жидкого стекла – и связанных с ним прочностных характеристик оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней. Следует отметить, что точность регрессионных моделей (1) и (2) зависит от условий освещения внутренней поверхности оболочки оболочечного

целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня в процессе получения цифровых изображений.

Испытания оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней, достигших требуемой по результатам предложенного оптического способа контроля манипуляторной прочности при их извлечении из нагреваемых стержневых ящиков, показали, что выбиваемость таких литейных стержней из отливок зависит от

толщины оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня, массовой доли связующего вещества – жидкого стекла – в целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси и его силикатного модуля, а также от режимов отверждения жидкого стекла углекислым газом. При имитации воздействия расплава на поверхность оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня путем его выдержки в муфельной печи при температурных условиях, близких к реальным, было установлено, что выгорание целлюлозы из оболочки происходит достаточно медленно, например, на глубину 1,2…1,5 мм за время 30 секунд при температуре 1500°C. Изменение толщины оболочки от 1 до 10 мм оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня в зависимости от массы отливки позволит изменять ее термическую стойкость в достаточно широких пределах, добиваясь отличной выбиваемости оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня, внутренняя полость которого заполнена сухим формовочным кварцевым песком либо сухой оборотной смесью. При соответствии толщины оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня ожидаемому температурному режиму при заполнении литейной формы расплавом можно получить физико-технические характеристики оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня, выгодно отличающиеся от физико-технических характеристик объемных песчано-жидкостекольных литейных стержней, а также от песчаных литейных стержней, изготовленных по V-процессу. По технологичности и производительности

стержневого процесса также преимущества имеет предлагаемая стержневая технология изготовления оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней. Безвредность и экологичность предлагаемой стержневой технологии сопоставима со сравниваемыми стержневыми процессами. Стержневая технология производства оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней, внутренняя полость которых заполнена сухим формовочным кварцевым песком либо сухой оборотной смесью, может быть рекомендована для производства литейных стержней средних и больших размеров при литье сплавов черных и цветных металлов и подходит как для единичного, так и для крупносерийного производства отливок.

**Выводы.** Оболочечные целлюлозно-жидкостекольные литейные стержни, внутренняя полость которых заполнена сухим формовочным кварцевым песком либо сухой оборотной смесью, показали высокую скорость набора манипуляторной прочности в подогреваемых стержневых ящиках, которая может быть с достаточной для технологического процесса точностью контролироваться при помощи предложенного оптического способа контроля. Данный способ основан на применении регрессионных моделей, устанавливающих связь между пределами прочности при растяжении, сжатии и изгибе и цветовыми компонентами цифрового изображения контролируемой внутренней поверхности оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня в процессе набора им прочности в стержневом ящике, продуваемом смесью воздуха и углекислого газа.

Оболочечные целлюлозно-жидкостекольные литейные стержни

показали хорошую термическую стойкость к расплаву и отличную выбиваемость из отливок, причем путем регулирования толщины оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня в пределах от 1 до 10 мм можно в широких пределах управлять его термической стойкостью в зависимости от объема отливки и, следовательно, добиваться оптимальной выбиваемости оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней различной сложности и массы при литье сплавов черных и цветных металлов.

### Список источников

1. Adeleke A. A., Oki M., Anyim I.K., Ikubanni P.P., Adediran A.A., Balogun A. A., Orhadahwe T.A., Omoniyi P.O., Olabisi A.S., Akinlabi E.T. Recent Development in Casting Technology: A Pragmatic Review. *Journal of Composite and Advanced Materials*. 2022; 32(2): 91–102. URL: <https://doi.org/10.18280/rcma.320206>.
2. Sabour M.R., Akbari M., Dezvareh G. Utilization of color change and image processing to evaluate the Waste Foundry Sand reclamation level. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020; 9(1): 1025–1031. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.041>.
3. Khan M.M., Mahajani S.M., Jadhav G.N., Vishwakarma R., Malgaonkar V., Mandre S. Mechanical and thermal methods for reclamation of waste foundry sand. *Journal of Environmental Management*. 2021; 279: 111628. URL: <https://doi:10.1016/j.jenvman.2020.111628>.
4. Kukartsev V.A., Kukartsev V.V., Tynchenko V.S., Bukhtoyarov V.V., Tynchenko V.V., Sergienko R.B., Bashmur K.A., Lysyannikov A.V. The Technology of Using Liquid Glass Mixture Waste for Reducing the Harmful Environmental Impact. *Materials (Basel)*. 2022; 15(3):1220. URL: <https://doi:10.3390/ma15031220>.
5. Kmita A., Dańko R., Holtzer M., Dańko J., Drozyński D., Skrzynski M., Rocznia A., Gruszka D.R., Jakubski J., Tapola S. Eco-Friendly Inorganic Binders: A Key Alternative for Reducing Harmful Emissions in Molding and Core-Making Technologies. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25:5496. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms25105496>.
6. Merta V., Beňo J., Obzina T., Radkovský F., Kroupová I., Lichý P., Folta M., Janovská K., Nguyenová I., Dostál M. Innovative Inorganic Binder Systems for the Production of Cores for Non-Ferrous Metal Alloys Reflecting the Product Quality Requirements. *Metals*. 2021; 11(5):733. URL: <https://doi.org/10.3390/met11050733>.
7. Леушин И.О., Грачев А.Н., Леушина Л.И., Марков А.И. Формирование прочности литейного стержня из смесей со связующим на основе неорганических солей // Теория и технология металлургического производства. – 2021. – № 1(36). – С. 36-40.
8. Зинченко П.С., Аксененко М.П., Йовбак А.В., Орендарчук Ю.В. Применение жидкостекольных смесей с пониженным содержанием жидкого стекла как фактор повышения качества отливок машиностроительного назначения // Scientific Journal «ScienceRise». 2016. № 5/2(22). – С. 6–9. DOI:10.15587/2313-8416.2016.69836.
9. Гутько Ю.И., Войтенко В.В. Исследование прочностных характеристик жидкостекольных литейных стержней // Наукомкие технологии и интеллектуальные системы: Сборник статей по итогам Междунар. науч.-практ. конф., 09 февр. 2021 г., Таганрог / Стерлитамак: АМИ, 2021. С. 8–11. URL: <https://ami.im/sbornik/MNPK-TT-83.pdf>.
10. Гутько Ю.И., Войтенко В.В. Исследование перспектив вакуумной обработки жидкостекольных литейных стержней // Концепции, теория и методика фундаментальных и прикладных научных исследований: Сборник статей по итогам Междунар. науч.-практ. конф., 14 февр. 2021 г., Тюмень / Стерлитамак: АМИ, 2021. – С. 110-112. URL: <https://ami.im/sbornik/MNPK-321.pdf>.

### References

1. Adeleke A. A., Oki M., Anyim I.K., Ikubanni P.P., Adediran A.A., Balogun A.A., Orhadahwe T.A., Omoniyi P.O., Olabisi A.S., Akinlabi E.T. Recent Development in Casting Technology: A Pragmatic Review. *Journal of Composite and Advanced Materials*. 2022; 32(2): 91–102. URL: <https://doi.org/10.18280/rcma.320206>.
2. Sabour M.R., Akbari M., Dezvareh G. Utilization of color change and image processing to evaluate the Waste Foundry Sand reclamation level. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020; 9(1): 1025–1031. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.041>.
3. Khan M.M., Mahajani S.M., Jadhav G.N., Vishwakarma R., Malgaonkar V., Mandre S. Mechanical and thermal methods for reclamation of waste foundry sand. *Journal of Environmental Management*. 2021; 279: 111628. URL: <https://doi:10.1016/j.jenvman.2020.111628>.
4. Kukartsev V.A., Kukartsev V.V., Tynchenko V.S., Bukhtoyarov V.V., Tynchenko V.V., Sergienko R.B., Bashmur K.A., Lysyannikov A.V. The Technology of Using Liquid Glass Mixture Waste for Reducing the Harmful Environmental Impact. *Materials (Basel)*. 2022; 15(3):1220. URL: <https://doi:10.3390/ma15031220>.
5. Kmita A., Da'ńko R., Holtzer M., Da'ńko J., Drozyński D., Skrzyński M., Rocznia A., Gruszka D.R., Jakubski J., Tapola S. Eco-Friendly Inorganic Binders: A Key Alternative for Reducing Harmful Emissions in Molding and Core-Making Technologies. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25:5496. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms25105496>.
6. Merta V., Beňo J., Obzina T., Radkovský F., Kroupová I., Lichý P., Folta M., Janovská K., Nguyenová I., Dostál M. Innovative Inorganic Binder Systems for the Production of Cores for Non-Ferrous Metal Alloys Reflecting the Product Quality Requirements. *Metals*. 2021; 11(5):733. URL: <https://doi.org/10.3390/met11050733>.
7. Leushin I.O., Grachev A.N., Leushina L.I., Markov A.I. Strength Formation of Casting Cores from Mixtures with a Binder Based on Inorganic Salts // *Theory and Technology of Metallurgical Production*. - 2021. - No. 1 (36). – P. 36-40.
8. Zinchenko P.S., Aksenenko M.P., Yovbak A.V., Orendarchuk Yu.V. Use of liquid glass mixtures with reduced content of liquid glass as a factor in improving the quality of machine-building castings // *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2016. No. 5/2(22). – P. 6–9. DOI:10.15587/2313-8416.2016.69836.
9. Gutko Yu.I., Voitenko V.V. Study of strength characteristics of liquid glass casting cores // *Science-intensive technologies and intelligent systems: Collection of articles based on the results of the Int. scientific-practical. conf.*, 09 Feb. 2021, Taganrog / Sterlitamak: AMI, 2021. pp. 8–11. URL: <https://ami.im/sbornik/MNPK-TT-83.pdf>.
10. Gutko Yu.I., Voitenko V.V. Study of the Prospects of Vacuum Processing of Liquid Glass Casting Cores // *Concepts, Theory, and Methods of Fundamental and Applied Scientific Research: Collection of Articles Based on the Results of the Int. Res. and Pract. Conf.*, February 14, 2021, Tyumen / Sterlitamak: AMI, 2021. – pp. 110–112. URL: <https://ami.im/sbornik/MNPK-321.pdf>.

Статья поступила в редакцию 12.07.2025

**Информация об авторах**

**Гутько Юрий Иванович**, доктор технических наук, профессор Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** lguni.lit@yandex.ru

**Войтенко Валерий Владимирович**, ассистент Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*ORCID:* <https://orcid.org/0009-0004-0267-5068>

**E-mail:** valery.voytenko@outlook.com

**Медведчук Сергей Adamovich**, старший преподаватель Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** lguni.lit@yandex.ru

**Information about the authors**

**Gutko Yury Ivanovich**, Doctor of Technical Science, Professor of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**E-mail:** lguni.lit@yandex.ru

**Voytenko Valery Vladimirovich**, Assistant of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

*ORCID:* <https://orcid.org/0009-0004-0267-5068>

**E-mail:** valery.voytenko@outlook.com

**Medvedchuk Sergey Adamovich**, Senior Lecturer of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**E-mail:** lguni.lit@yandex.ru

---

**Для цитирования:**

Гутько Ю.И., Войтенко В.В., Медведчук С.А. Оптический способ контроля набора манипуляторной прочности оболочечным целлюлозно-жидкостекольным литейным стержнем в процессе его изготовления // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 2(3). – С. 5-14.

**For citation:**

Gutko Yu.I., Voytenko V.V., Medvedchuk S.A. Optical method for monitoring the gain of manipulative strength of shell cellulose-liquid glass casting core during its manufacturing process // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 2 (3). – P. 5-14.

---

## ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 656

### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ПАССАЖИРСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ ANYLOGIC

Лучко М. И.

### SIMULATION MODELING OF THE URBAN PASSENGER TRANSPORT NETWORK USING ANYLOGIC TOOLS

Luchko M. I.

**Аннотация.** Рассмотрены возможности использования AnyLogic в проектировании городской пассажирской транспортной сети и создании цифрового двойника с последующим имитационным моделированием. Представлены примеры успешного применения данного инструмента на практике. Описаны алгоритмы построения моделей и визуализации результатов.

**Ключевые слова:** городская пассажирская транспортная система, AnyLogic, имитационное моделирование процессов, проектирование транспортной сети.

**Abstract.** The possibilities of using AnyLogic in the design of an urban passenger transport network are considered. Examples of successful application of this tool in practice are presented. Algorithms for building models and visualizing results are described.

**Keywords:** urban passenger transport system, AnyLogic, simulation of processes, transport network

**Введение.** В условиях современного урбанистического развития вопросы проектирования и оптимизации транспортных систем становятся все более актуальными. Эффективное управление транспортными потоками, минимизация времени ожидания пассажиров и оптимальная загрузка инфраструктуры являются ключевыми задачами при создании устойчивых и комфортных условий для перемещения людей в городах. Одним из инструментов, который позволяет моделировать транспортные системы и

оценивать их эффективность, является программное обеспечение AnyLogic [1].

AnyLogic представляет собой универсальный инструмент для имитационного моделирования различных процессов, включая транспортные потоки [2]. Он предоставляет возможность создания моделей любой сложности, начиная от простых схем движения транспорта до сложных многоуровневых сетей с учетом множества факторов, таких как плотность населения, распределение потоков

пассажиров, загруженность дорог и многое другое.

С возрастающей сложностью дорожной обстановки и транспортных потоков становится всё более важным постоянно улучшать подходы и инструменты для управления ими. Поэтому остро стоит задача разработки такой адаптивной технологии, которая позволила бы проводить компьютерные симуляции в сфере управления транспортом. Эта технология должна эффективно интегрироваться с современными геоинформационными системами и легко приспосабливаться к различным исследовательским задачам [3]. Ключ к решению этой проблемы лежит в применении таких методов и программных инструментов, которые позволяют создавать технологии компьютерных исследований, полностью учитывающие как особенности самой области управления городским пассажирским транспортом, так и специфические знания, и опыт исследователя.

**Цель данной статьи** – рассмотреть возможности использования AnyLogic для проектирования пассажирских транспортных сетей, а также представить примеры реализации подобных проектов. Особое внимание будет уделено описанию алгоритмов построения моделей и визуализации результатов.

Рассмотрим основные этапы проектирования транспортной сети с помощью AnyLogic.

**Материалы и методы исследования.** Проектирование пассажирской транспортной сети включает несколько ключевых этапов:

Сбор данных: на этом этапе необходимо собрать информацию о существующей инфраструктуре (дороги, остановки,

вокзалы), количестве и распределении пассажиров, а также другие данные, которые могут повлиять на модель (например, загрузка дорог, погодно-климатические условия).

**Создание модели:** после сбора всех необходимых данных начинается процесс создания модели в AnyLogic. Модель может включать различные элементы, такие как дороги, маршруты, остановки, транспортные средства и пассажиры.

**Настройка параметров:** параметры модели настраиваются таким образом, чтобы максимально точно отражать реальные условия. Это может включать скорость движения транспорта, интервалы между рейсами, количество пассажиров на остановках и т.д.

**Имитация работы модели:** после настройки параметров проводится серия экспериментов, в ходе которых имитируется работа транспортной сети. Результаты этих экспериментов позволяют оценить эффективность предложенных решений и выявить возможные проблемы.

**Анализ результатов:** полученные результаты анализируются с целью выявления узких мест и возможных улучшений. На основе анализа принимаются решения о внесении изменений в модель или о внедрении предложенных решений в реальную жизнь.

**Документирование и представление результатов:** важным этапом является документирование процесса моделирования и полученных результатов. Это включает создание отчетов, презентаций и других материалов, которые помогут другим специалистам понять и использовать разработанную модель.

**Предложенное решение.** Рассмотрим конкретный пример использования AnyLogic для проектирования пассажирской

транспортной сети в небольшом городе. Предположим, что город имеет радиально-кольцевую структуру с несколькими основными магистралями и множеством второстепенных улиц. Целью проекта является оптимизация маршрутов общественного транспорта для уменьшения времени ожидания пассажиров и повышения общей эффективности системы.

**Сбор данных.** На первом этапе были собраны следующие данные: карта города с указанием всех дорог и остановок, статистика по количеству пассажиров на каждой остановке в разное время суток, информация о типах транспортных средств, используемых в городе (автобусы, электробусы);

— данные о скорости движения транспорта на разных участках дорог.

**Создание модели.** Для создания модели использовались следующие объекты среды AnyLogic [4]:

объект «Road\_Network» — для представления дорожной сети города;

объект «Bus\_Stop» — для обозначения остановок общественного транспорта;

объект «Vehicle» — для моделирования транспортных средств;

объект «Passenger» — для моделирования пассажиров.

Модель была построена следующим образом.

Сначала была создана карта города с использованием объекта «Road\_Network». Дороги были разделены на сегменты, каждый из которых имел свои параметры (скорость движения, пропускная способность и т.д.).

Затем были добавлены остановки общественного транспорта (объект «Bus\_Stop»). Каждая остановка имела свою статистику по количеству пассажиров в разное время суток.

Далее были созданы транспортные средства (объект «Vehicle»), настроены их параметры (скорость движения, интенсивность, интервал движения) и их маршруты. Маршруты включали последовательность остановок (объект «Bus\_Stop»), через которые должен проходить транспорт.

Наконец, были добавлены пассажиры (объект «Passenger»). Пассажиры появлялись на остановках согласно собранной статистике и ожидали прибытия транспортного средства.

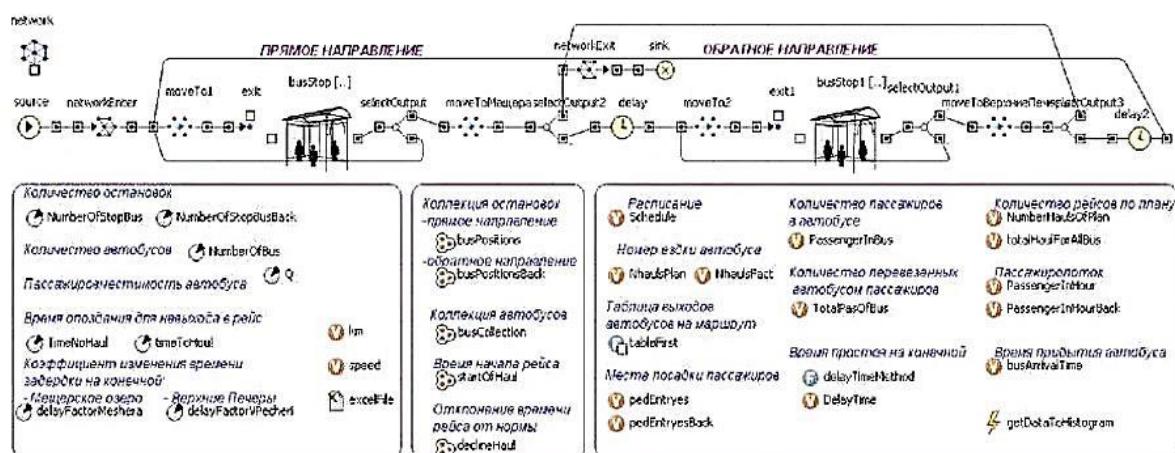


Рис. 1. Модель городской пассажирской транспортной сети с применением инструментов Anylogic

*Настройка параметров модели.* Параметры модели были настроены следующим образом:

– скорость движения транспорта на каждом участке дороги соответствовала реальным условиям;

– интервалы между рейсами устанавливались исходя из статистики пассажиропотока;

– количество пассажиров на каждой остановке варьировалось в зависимости от времени суток.

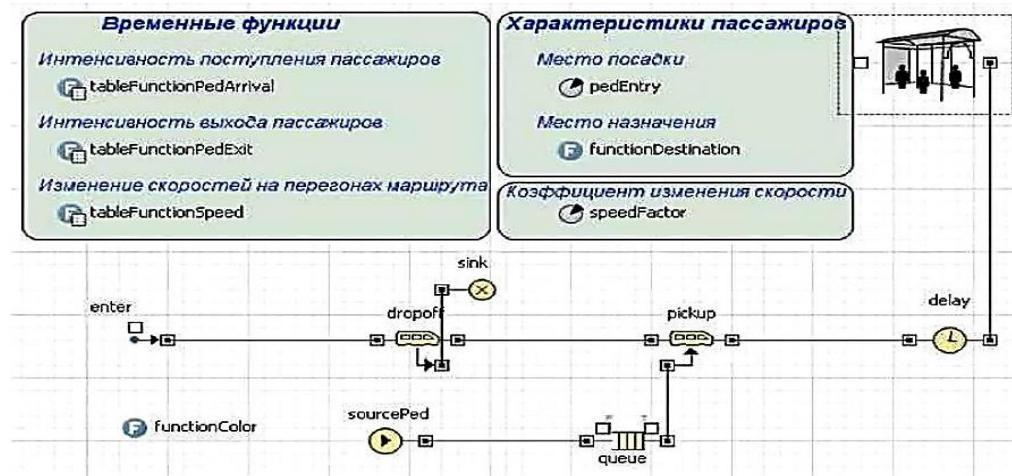


Рис. 2. Настройка параметров модели

*Имитация работы модели.* После настройки параметров была проведена серия экспериментов. Каждый эксперимент представлял собой симуляцию работы транспортной сети в течение определенного периода времени (например, одного дня). В ходе эксперимента

отслеживались следующие показатели: время ожидания пассажиров на остановках; загруженность транспортных средств; общая эффективность системы (количество перевезенных пассажиров за единицу времени).

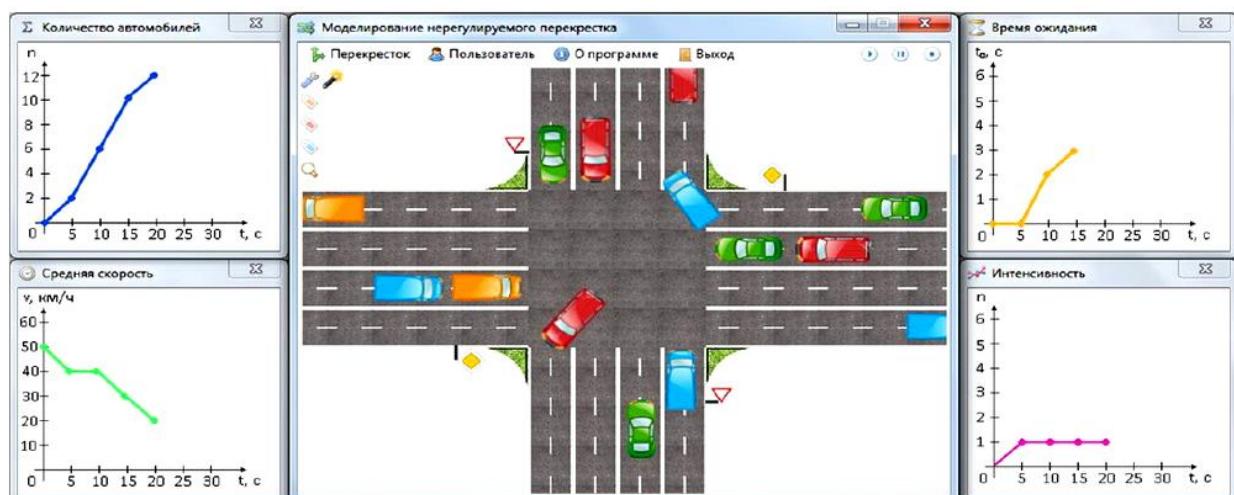


Рис. 3. Визуализация режимов моделирования

### *Анализ результатов моделирования.*

Результаты экспериментов с использованием таксономии при анализе задержек в автотранспортных сетях [5] показали, что текущая схема маршрутов не всегда эффективна. Например, на некоторых остановках наблюдалось значительное скопление пассажиров, тогда как на других остановках транспорт простоявал без пассажиров. Были выявлены следующие основные проблемы:

- некорректное распределение интервалов между рейсами;
- недостаточная частота рейсов на популярных маршрутах;
- избыточная частота рейсов на менее востребованных маршрутах.

*Предложения по улучшению.* На основании проведенного анализа были сделаны следующие предложения по улучшению транспортной сети:

- скорректировать интервалы между рейсами на наиболее загруженных маршрутах;
- произвести увеличение количества транспортных средств на популярных направлениях;
- оптимизация маршрутов с учетом реальной загрузки остановок.

Эти изменения были внесены в модель, после чего проведены дополнительные эксперименты для оценки их эффективности. Результаты показали значительное улучшение показателей, таких как уменьшение времени ожидания пассажиров и повышение общей эффективности системы.

**Выводы.** Необходимость разработки гибкой и адаптируемой компьютерной технологии для моделирования городской пассажирской транспортной сети и транспортных потоков продиктована увеличением пассажиропотоков и

сложнением реальных дорожных условий. Такая технология, интегрируемая с геоинформационными системами, позволит эффективно проводить исследования, учитывая, как специфику предметной области, так и профессиональные знания исследователя.

Использование AnyLogic для проектирования пассажирской транспортной сети позволяет создать точные и реалистичные модели, которые помогают принимать обоснованные решения. Представленный пример демонстрирует, как можно применять этот инструмент для оптимизации маршрутов общественного транспорта и улучшения качества обслуживания пассажиров. Важно отметить, что успех проекта зависит от тщательного сбора данных и корректного моделирования реальных условий.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку более сложных моделей, учитывающих дополнительные факторы, такие как погодные условия, пробки и аварийные ситуации. Это позволит создавать еще более эффективные и надежные транспортные системы, отвечающие потребностям современных городов.

### **Список источников**

1. The AnyLogic Company. "AnyLogic Documentation" – режим доступа – <https://www.anylogic.com/documentation> (дата обращения 25.06.2025).
2. Лучко, М.И. Применение AnyLogic в проектировании городской пассажирской транспортной сети / М. И. Лучко, Д. С. Пташкин // Состояние и перспективы развития транспортных технологий: материалы научно-практической конференции преподавателей, студентов и молодых ученых, г. Луганск, 17 апреля 2025 года: сборник научных работ. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2025. – С. 260-262.

3. Михеева Т.И., Федосеев А.А., Головнин О.К. Модель пространственных данных оценки состояния объектов транспортной инфраструктуры в интеллектуальной ГИС «ITSGIS» // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: Межвуз. науч. сб. Уфа: Изд-во УГАТУ, 2013. – С. 69-73.

4. Библиотека дорожного движения. "AnyLogic" – режим доступа – <https://www.anylogic.ru/features/libraries/road-traffic-library> (дата обращения 28.06.2025)

5. Пуртов А.М. Использование таксономии при анализе задержек в автотранспортных сетях // Вестн. СибАДИ. – 2013 – № 2 (30). – С. 73–78.

### References

1. The AnyLogic Company. "AnyLogic Documentation" – access mode – <https://www.anylogic.com/documentation> (accessed on 25.06.2025)
2. Luchko M.I. Application of AnyLogic in the design of urban passenger transport network /

### Информация об авторе

**Лучко Максим Иванович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 3405-1303, AuthorID: 1184325*

**E-mail:** maxl\_dal@mail.ru

M. I. Luchko, D. S. Ptashkin // State and prospects of development of transport technologies: materials of the scientific and practical conference of teachers, students and young scientists, Lugansk, April 17, 2025: collection of scientific papers. – Lugansk: Publishing House of V. Dal LSU, 2025. – P. 260-262.

3. Mikheeva T.I., Fedoseev A.A., Golovnin O.K. Model of spatial data assessment of the state of transport infrastructure facilities in the intelligent GIS «ITSGIS» // Geoinformation technologies in the design and creation of corporate information systems: Interuniversity. scientific. coll. Ufa: Publishing House of USATU, 2013. P. 69–73.

4. Road traffic library. "AnyLogic" – access mode – <https://www.anylogic.ru/features/libraries/road-traffic-library> (accessed 28.06.2025).

5. Purtov A.M. Using Taxonomy in the Analysis of Delays in Road Transport Networks // Vestn. SibADI. 2013. No. 2 (30). Pp. 73–78.

*Статья поступила в редакцию 12.07.2025*

### Information about the author

**Luchko Maxim Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department "Transport technologies" of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

*SPIN-код: 3405-1303, AuthorID: 1184325*

**E-mail:** maxl\_dal@mail.ru

### Для цитирования:

Лучко М. И. Имитационное моделирование городской пассажирской транспортной сети с применением инструментов Anylogic // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 2(3). – С. 15-20.

### For citation:

Luchko M. I. Simulation modeling of the urban passenger transport network using Anylogic tools // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 2 (3). – P. 15-20.

УДК 628.4.036:007.52

## РОБОТИЗИРОВАННЫЕ МОДУЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ: АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ

Петров А. Г., Федорченко В. В.

## ROBOTIZED MODULAR COMPLEXES FOR URBAN ENVIRONMENT MAINTENANCE: EFFICIENCY ANALYSIS AND IMPLEMENTATION PROSPECTS

Petrov A. G., Fedorchenko V. V.

**Аннотация.** В статье рассмотрена актуальная проблема повышения эффективности обслуживания городской среды в условиях растущих агломераций. Представлены результаты анализа перспектив внедрения роботизированных модульных комплексов (РМК) для выполнения задач уборки, строительства и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Разработана концепция модульной архитектуры РМК, включающая сменные ходовые системы (гусеничные, колесные) и специализированные функциональные модули (уборочные, строительные). Методология исследования основана на сравнительном анализе технико-экономических показателей традиционной специализированной техники и предлагаемых РМК с использованием методов теории эффективности и моделирования затрат жизненного цикла. На основе анализа выявлены основные технологические и нормативно-правовые барьеры для массового внедрения РМК и предложены пути их преодоления. Полученные результаты демонстрируют значительный потенциал РМК для оптимизации городского хозяйства и формирования инфраструктуры «умного города».

**Ключевые слова:** роботизированный модульный комплекс, городская среда, «умный город», технико-экономический анализ, эффективность, модульная архитектура, жизненный цикл, эксплуатационные расходы, нормативно-правовая база.

**Abstract.** The article addresses the current problem of increasing the efficiency of urban environment maintenance in growing agglomerations. The results of an analysis of the prospects for the implementation of robotic modular complexes (RMC) for performing tasks of cleaning, construction, and emergency response are presented. A concept of the modular architecture of RMC has been developed, including replaceable propulsion systems (tracked, wheeled) and specialized functional modules (cleaning, construction). The research methodology is based on a comparative analysis of the technical and economic indicators of traditional specialized equipment and the proposed RMC using methods of efficiency theory and life-cycle cost modeling. Based on the analysis, the main technological and regulatory barriers to the mass implementation of RMC are identified, and ways to overcome them are proposed. The obtained results demonstrate the significant potential of RMC for optimizing municipal services and forming smart city infrastructure.

**Key words:** robotic modular complex, urban environment, smart city, techno-economic analysis, efficiency, modular architecture, life cycle, operating costs, regulatory framework.

**Введение.** Современные агломерации сталкиваются с беспрецедентными вызовами, связанными с ростом населения, увеличением антропогенной нагрузки на инфраструктуру и ужесточением экологических нормативов. Традиционные методы содержания городских территорий, характеризующиеся высокой долей ручного труда, низкой эффективностью и значительными эксплуатационными затратами, исчерпали свой потенциал. В этой связи актуализируется задача поиска и внедрения прорывных технологических решений, способных обеспечить качественный скачок в эффективности городского хозяйства.

Одним из наиболее перспективных направлений является роботизация процессов уборки и обслуживания городских пространств. Роботизированные уборочные комплексы (РУК), построенные на принципах модульности, автономности и интеграции в экосистему «умного города», представляют собой не просто замену ручного труда, а новую парадигму управления городской средой. Их внедрение позволяет перейти от реактивного устраниния последствий к проактивному превентивному управлению состоянием городской инфраструктуры.

Несмотря на очевидный потенциал, вопросы комплексной оценки эффективности, анализа барьеров внедрения и разработки научно обоснованных моделей интеграции РУК в городскую среду остаются недостаточно изученными. Большинство существующих исследований [1, 2] фокусируются на отдельных технических аспектах, оставляя без внимания системные экономические, организационные и социальные факторы.

Целью данного исследования является проведение комплексного анализа эффективности модульных роботизированных уборочных комплексов для агломераций, выявление ключевых преимуществ и ограничений, а также разработка научно-обоснованных рекомендаций по их успешной интеграции в городскую среду.

Методологическую основу исследования составил системный подход, объединяющий методы сравнительного анализа, технологического прогнозирования и экономико-математического моделирования. На первом этапе проведен анализ архитектурных решений и функциональных возможностей современных и перспективных РУК, представленных в научной литературе и патентных базах данных. На втором этапе выполнено моделирование процессов их внедрения с оценкой операционной эффективности, жизненного цикла и совокупной стоимости. Для оценки интеграционного потенциала использовалась методика анализа соответствия требованиям инфраструктуры «умного города». Обработка данных и построение регрессионных моделей для прогнозирования показателей эффективности проведены с использованием программного пакета AnyLogic [3].

**Материалы исследований.** Роботизированные уборочные комплексы представляют собой не просто машины для уборки, а интеллектуальные платформы, способные трансформироваться и выполнять широкий спектр задач, от поддержания чистоты улиц до участия в

строительных и ремонтных работах, а также в устранении последствий чрезвычайных ситуаций. Ключевым элементом их конструкции является модульный принцип построения, позволяющий создавать универсальные и легко конфигурируемые системы.

В основе каждого роботизированного уборочного комплекса лежит центральный блок управления, отвечающий за навигацию, координацию работы модулей, сбор и анализ данных с датчиков, а также взаимодействие с оператором или центральной диспетчерской службой, сервером баз данных, системой «умный город».

Питание комплекса осуществляется от аккумуляторной системы, обеспечивающей автономность работы. Электродвигатели BLDC (Brushless Direct Current Motor) — бесколлекторный электродвигатель постоянного тока, или бесщёточный двигатель интегрированные в центральный блок, гарантируют плавное и точное движение, а также возможность работы в различных режимах.

Особое внимание уделено пневматической подвеске. Она обеспечивает превосходную проходимость по неровным поверхностям, снижает вибрации, защищая чувствительное оборудование, и позволяет регулировать клиренс для оптимальной работы с различными типами модулей и в различных условиях [4].

Разнообразие датчиков – от лидаров и камер до ультразвуковых и инфракрасных сенсоров – позволит комплексу ориентироваться в пространстве, распознавать препятствия, определять типы загрязнений и контролировать качество выполняемых работ.

Ключевым преимуществом таких комплексов является их модульная ходовая часть. Комплекс состоит из двух левых и правых ходовых модулей, расположенных по бортам – эти модули являются парными и сменными, что открывает широкие возможности для адаптации к различным условиям эксплуатации.

Гусеничные шасси идеальны для работы на мягких грунтах, бездорожье, а также в условиях, требующих повышенной проходимости и устойчивости, например, на строительных площадках или в парковых зонах с неровным рельефом.

Колесные шасси обеспечивают высокую скорость передвижения по асфальтированным покрытиям, что делает их оптимальным выбором для уборки автомагистралей и городских улиц. Конфигурация колес, с независимой подвеской может быть использованы для достижения максимальной маневренности.

Возможность замены модулей позволяет трансформировать рабочую единицу из уборочной машины в строительную технику или наоборот, снижая время простоя и повышая эффективность.

Именно специализированные модули-обвесы раскрывают весь потенциал комплексов. Они позволяют адаптировать базовую платформу для выполнения широкого спектра задач [5].

Для уборки асфальтных дорожных покрытий, тротуаров и парковых зон возможно использовать:

щеточные модули – для сбора пыли, мусора;

вакуумные системы – мощные всасывающие устройства, особенно эффективные на тротуарах и в парковых зонах;

модули полива и мойки – системы подачи воды под давлением для очистки поверхностей от стойких загрязнений;

скребковые модули – для удаления налипших загрязнений с асфальта;

контейнеры для сбора мусора – съемные емкости, оптимизированные для быстрой выгрузки.

Для строительных площадок целесообразно применять:

самосвальный кузов – для транспортировки сыпучих материалов, грунта, мусора;

экскаваторный модуль – компактный экскаваторный ковш для земляных работ, рытья траншей;

грейдерный модуль – для выравнивания поверхностей, планировки грунта;

пневмомолот – для разрушения при демонтажных работах, либо при устраниении завалов в чрезвычайных ситуациях;

захваты (грейферы, клещи) – для погрузки и перемещения крупногабаритного мусора, бревен, строительных отходов;

гидропривод для бурения грунтов – специализированный модуль с буровым инструментом для создания отверстий, установки столбов или проведения геологических изысканий;

модули для уплотнения грунта (катки) – для трамбовки и уплотнения поверхностей на строительных площадках;

Внедрение robotизированных уборочных комплексов агломераций открывает новые горизонты в управлении городской инфраструктурой.

Автоматизация процессов уборки и выполнения строительных задач позволяет сократить время выполнения работ и

снизить затраты. Использование электрических двигателей и аккумуляторных систем снижает выбросы вредных веществ в атмосферу, делая городскую среду более чистой.

Роботизированные системы могут работать в условиях, опасных для человека, например, на оживленных магистралях или вблизи строительной техники, при задымленности и условиях плохой видимости. Модульная конструкция позволит быстро переконфигурировать комплекс под конкретные задачи, минимизируя необходимость в специализированной технике для каждого вида работ.

Работы способны работать круглосуточно, без перерывов и усталости, обеспечивая стабильное качество выполнения задач. Интеграция с системами «умного города» позволяет оптимизировать маршруты уборки, реагировать на изменения погодных условий и уровень загрязнения в реальном времени [6].

Роботизированные уборочные комплексы агломераций – это не просто футуристическая концепция, а реальный инструмент для создания более чистых, безопасных и эффективных городов. Модульная архитектура и способность к трансформации делают их универсальным решением для широкого спектра задач, от поддержания чистоты до активного участия в развитии городской инфраструктуры и устранении ЧС. Дальнейшее развитие технологий искусственного интеллекта, машинного зрения и робототехники будет способствовать еще большей интеграции этих комплексов в повседневную жизнь агломераций, делая их более комфортными для проживания.

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение роботизированных уборочных комплексов агломераций сопряжено с рядом вызовов, требующих комплексного подхода и инновационных решений.

Первоначальные инвестиции в разработку, производство и внедрение таких комплексов могут быть значительными, однако, долгосрочная экономическая выгода, обусловленная снижением эксплуатационных расходов, повышением эффективности и увеличением срока службы оборудования, оправдывает эти затраты. Государственная поддержка, льготное кредитование и механизмы лизинга могут способствовать ускорению внедрения.

Для эффективной работы роботизированных комплексов необходима развитая инфраструктура, включающая зарядные станции - сервисные центры, а также системы связи и управления. Интеграция с существующей городской инфраструктурой и создание новых элементов, адаптированных для нужд роботов, является важным шагом на пути к успешному внедрению.

Необходимо разработать четкие правила и стандарты, регулирующие использование роботизированной техники в городской среде, что включает вопросы безопасности, ответственности, страхования, а также защиты данных и конфиденциальности.

Важно информировать общественность о преимуществах роботизированных систем и развеивать опасения, связанные с возможной потерей рабочих мест. Переквалификация персонала и создание новых рабочих мест в сфере обслуживания и управления роботизированной техникой, могут смягчить негативные последствия.

Роботизированные комплексы, подключенные к сети, уязвимы для кибератак. Необходимо обеспечить надежную защиту от несанкционированного доступа, вредоносного программного обеспечения и других угроз. Разработка и внедрение строгих мер кибербезопасности, включая шифрование данных, аутентификацию пользователей и мониторинг сетевой активности, является критически важным.

Городская среда характеризуется высокой динамичностью и непредсказуемостью. Роботизированные комплексы должны быть способны эффективно ориентироваться в сложных условиях, распознавать препятствия, адаптироваться к изменениям погодных условий и избегать столкновений с людьми и другими транспортными средствами. Использование передовых алгоритмов машинного обучения, сенсорных систем и картографических данных позволяет повысить надежность и точность навигации [8].

Комплексы должны быть способны безопасно и эффективно взаимодействовать с людьми, что включает распознавание жестов и голосовых команд, соблюдение правил дорожного движения и обеспечение безопасности пешеходов. Разработка интуитивно понятных интерфейсов и систем предупреждения позволяет улучшить взаимодействие между роботами и людьми.

В будущем роботизированные уборочные комплексы агломераций будут все более интегрироваться с другими системами «умного города», создавая синергетический эффект и повышая эффективность управления городской инфраструктурой.

Роботы смогут собирать данные о качестве воздуха, уровне шума, температуре и других параметрах окружающей среды, передавая их в центральную систему мониторинга, что позволит оперативно реагировать на изменения экологической обстановки и принимать меры по ее улучшению.

Комплексы смогут автоматически сортировать и собирать отходы, оптимизируя процесс переработки и утилизации. Использование сенсорных систем и алгоритмов машинного обучения позволит распознавать различные типы отходов и направлять их в соответствующие контейнеры.

Роботы смогут обмениваться информацией с системами управления светофорами и дорожными знаками, оптимизируя свои маршруты и избегая заторов, что позволит повысить эффективность уборки и снизить время простоя.

Роботизированные комплексы будут оснащены системами самообучения, позволяющими им анализировать собранные данные, выявлять закономерности и оптимизировать свои алгоритмы работы, что позволит им адаптироваться к изменяющимся условиям и повышать свою эффективность с течением времени.

Роботы смогут работать в группах, координируя свои действия и распределяя задачи между собой. Это позволит им выполнять более сложные и масштабные проекты, такие как комплексная уборка больших территорий или строительство объектов.

В будущем роботизированные комплексы смогут предлагать персонализированные услуги,

адаптированные к потребностям конкретных районов или даже отдельных жителей, например, робот-уборщик может быть запрограммирован на уборку определенной территории в определенное время, учитывая расписание движения пешеходов и транспорта.

Развитие технологий позволит создавать еще более энергоэффективные роботизированные комплексы, а также использовать возобновляемые источники энергии, такие как солнечные батареи, для их питания, что сделает их еще более экологичными и экономически выгодными [9].

#### Выводы.

Роботизированные уборочные комплексы агломераций представляют собой мощный инструмент для трансформации городской среды. Их модульная конструкция, высокая адаптивность и интеллектуальные возможности открывают новые горизонты в области поддержания чистоты, развития инфраструктуры и повышения качества жизни горожан. Преодоление существующих вызовов и дальнейшее развитие технологий позволяют этим комплексам стать неотъемлемой частью современных, эффективных и устойчивых городов будущего.

Роботизированные уборочные комплексы агломераций, благодаря своей модульности и адаптивности, революционизируют городское хозяйство. Они способны трансформироваться для уборки улиц, парков и строительных площадок, используя сменные ходовые и специализированные модули. Интеграция с системами «умного города» и самообучение позволят им работать еще эффективнее и безопаснее. Преодоление технологических и нормативных вызовов

откроет путь к созданию более чистых, комфортных и устойчивых городов будущего. Эти комплексы – ключ к оптимизации городских процессов и повышению качества жизни горожан.

#### Список источников

1. Тимофеев А. В. Роботы и искусственный интеллект / А.В. Тимофеев. – М.: Наука, 2005. – 192 с.
2. Куафе Ф. Взаимодействие робота с внешней средой / Ф. Куафе. – Москва: ИЛ, 2009. – 465 с.
3. AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 26.09.2024).
4. Тывес Л. И. Механизмы робототехники. Концепция связей в кинематике, динамике и планировании движений / Л.И. Тывес. – М.: Ленанд, 2014. – 208 с.
5. Краснова С. А. Блочный синтез систем управления роботами-манипуляторами в условиях неопределенности / С.А. Краснова, В.А. Уткин, А.В. Уткин. – М.: Ленанд, 2014. – 208 с.
6. Брайнль Томас Встраиваемые робототехнические системы. Проектирование и применение мобильных роботов со встроенными системами управления / Томас Брайнль. – Москва: РГГУ, 2012. – 520 с.
7. Бербюк В. Е. Динамика и оптимизация робототехнических систем / В.Е. Бербюк. – М.: Наукова думка, 2014. – 192 с.
8. Корсунский В. А. Выбор критериев и классификация мобильных робототехнических систем на колесном и гусеничном ходу. Учебное пособие / В.А. Корсунский, К.Ю. Машков, В.Н. Наумов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 862 с.
9. Удивительная техника. – М.: Эксмо, Наше слово, 2016. – 176 с.

#### References

1. Timofeev A. V. Robots and Artificial Intelligence / A. V. Timofeev. - Moscow: Nauka, 2005. - 192 p.
2. Kuafe F. Interaction of the Robot with the Environment / F. Kuafe. - Moscow: IL, 2009. – 465 p.
3. AnyLogic: simulation modeling for business [Electronic resource]. — Access mode: <http://www.anylogic.ru/> (date of access: 26.09.2024).
4. Tyves L. I. Robotics Mechanisms. The Concept of Decouplings in Kinematics, Dynamics, and Motion Planning / L. I. Tyves. - Moscow: Lenand, 2014. - 208 p.
5. Krasnova S. A. Block Synthesis of Robotic Manipulator Control Systems under Uncertainty / S. A. Krasnova, V. A. Utkin, A. V. Utkin. - Moscow: Lenand, 2014. - 208 p.
6. Bräunl Thomas. Embedded Robotic Systems. Design and Application of Mobile Robots with Embedded Control Systems / Thomas Bräunl. - Moscow: RSUH, 2012. - 520 p.
7. Berbyuk V. E.. Dynamics and Optimization of Robotic Systems / V. E. Berbyuk. - Moscow: Naukova Dumka, 2014. - 192 p.
8. Korsunkiy V. A.. Selection of Criteria and Classification of Mobile Robotic Systems on Wheels and Tracks. A Tutorial / V. A. Korsunkiy, K. Yu. - Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2014. - 862 p.
9. Amazing technology. - M.: Eksmo, Nashe slovo, 2016. - 176 p.

Статья поступила в редакцию 22.07.2025

**Информация об авторах**

**Петров Александр Георгиевич**, старший преподаватель кафедры транспортные технологии Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** qjdj@mail.ru

**Федорченко Виктор Васильевич**, старший преподаватель кафедры транспортные технологии Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** exsel\_es@mail.ru

**Information about the authors**

**Petrov Alexander Georgievich**, Senior Lecturer of the Department of Transport Technologies of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**E-mail:** qjdj@mail.ru

**Fedorchenko Viktor Vasilievich**, Senior Lecturer of the Department of Transport Technologies of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**E-mail:** exsel\_es@mail.ru

---

**Для цитирования:**

Петров А. Г., Федорченко В. В. Роботизированные модульные комплексы для обслуживания городской среды: анализ эффективности и перспективы внедрения // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 2(3). – С. 21-28.

**For citation:**

Petrov A. G., Fedorchenko V. V. Robotized modular complexes for urban environment maintenance: efficiency analysis and implementation prospects // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 2 (3). – P. 21-28.

---

УДК 656.073.9

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Тарапычкин И. А., Ленич С. В.

## ECOLOGICAL EFFICIENCY OF ROAD TERMINAL TRANSPORTATION

Tararychkin I. A., Lenich S. V.

**Аннотация.** Несмотря на то, что грузовые автомобили занимают значительную часть в общем объеме перевозок, они всё равно остаются одним из главных источников загрязнения воздуха. Для решения этой проблемы, как за рубежом, так и у нас всё активнее используют современные экологичные логистические технологии. Автомобильные терминальные системы помогают сократить количество поездок за счёт объединения поставок в одном направлении, что снижает уровень загрязнения. Проведенные исследования показывают, как величина вредных выбросов зависит от расстояния между терминалами и загрузки грузовых автомобилей. В нашей работе удалось выяснить, как именно уменьшаются выбросы углекислого газа, серы, оксидов азота и твёрдых частиц при использовании терминальных перевозок. Результаты показывают, что эта логистическая технология действительно помогает сократить выбросы  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$  и  $PM$ , и с увеличением грузоподъёмности этот эффект становится ещё более ощутимым. В итоге терминальная система автомобильных перевозок не только улучшает обслуживание клиентов, но и снижает вредные выбросы, укрепляя позиции автомобильного транспорта на рынке перевозок.

**Ключевые слова:** «экологичная» логистика, оптимизация автомобильных перевозок, автомобильный транспорт, автопоезд, грузопереработка, вредные выбросы.

**Abstract.** Despite the fact that trucks occupy a significant part of the total volume of transportation, they still remain one of the main sources of air pollution. To solve this problem, both abroad and in our country, modern environmentally friendly logistics technologies are increasingly being used. Road terminal systems help to reduce the number of trips by combining supplies in one direction, which reduces pollution. The conducted studies show how the amount of harmful emissions depends on the distance between terminals and the loading of trucks. In our work, we managed to find out exactly how emissions of carbon dioxide, sulfur, nitrogen oxides and particulate matter are reduced when using terminal transportation. The results show that this logistics technology really helps to reduce  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$  and  $PM$  emissions, and with increasing cargo capacity, this effect becomes even more noticeable. As a result, the terminal system of road transportation not only improves customer service, but also reduces harmful emissions, strengthening the position of road transport in the transportation market.

**Key words:** "green" logistics, optimization of road transport, road transport, road train, cargo handling, harmful emissions.

**Введение.** Транспортировка грузовыми автомобилями продолжает оставаться самым популярным способом перевозки товаров благодаря своей гибкости, быстрой доставке и возможности доставить товары «от двери до двери». Эти плюсы позволяют использовать современные технологии логистики, такие как система поставок «точно в срок» и быстрая реакция на рыночный спрос. Исследование [1] показало, что автомобильные контейнерные перевозки с двумя водителями могут сократить время доставки в сравнении с железной дорогой до четырёх раз.

В России и Европе доля грузового автомобильного транспорта в общем объёме перевозок превышает 80%, и в ближайшие годы она только вырастет [2]. Таким образом, можно смело сказать, что транспортировка грузовыми автомобилями играет важнейшую роль в перевозках и будет способствовать развитию экономики нашей страны.

Но стоит отметить, что автомобильные грузовые перевозки выделяют много углекислого газа и потребляют много топлива. Поэтому многие компании в последние годы ищут способы сократить выбросы и переходят на технологии «зелёной» логистики [3].

Согласно Парижскому соглашению по климату (2015 год) Россия вошла в список стран, которые обязались уменьшить выбросы парниковых газов до 2050 года. Новая область под названием «зелёная» логистика разрабатывает идеи и технологии, чтобы уменьшить негативное влияние логистики, особенно транспорта, на природную среду. Это поможет участникам цепей поставок находить экологические решения, которые будут

актуальны для общества, и соответствовать целям устойчивого развития [4].

Сейчас логистические компании и автоперевозчики всё больше интересуются вопросами экологии на транспорте. Они обновляют свой подвижной состав и условия его работы, внедряют «зелёные» технологии в планирование и организацию перевозок [5].

Цель этой статьи заключается в исследовании по снижению выбросов углекислого газа CO<sub>2</sub>, диоксида серы SO<sub>2</sub>, оксидов азота NO<sub>x</sub> и твёрдых частиц PM при автомобильных грузовых перевозках за счёт внедрения терминальной технологии.

**Описание автомобильных терминальных систем.** Автомобильный транспорт, благодаря хорошо развитой инфраструктуре, обеспечивает надёжность доставки для любой компании и может перевозить грузы как в пределах государства, так и на международном уровне. Улучшение LTL-перевозок способствовало развитию терминальных систем для доставки автотранспортом. Терминалы, которые используют автоперевозчики, можно разделить на те, что предназначены для самовывоза и доставки, для сборных грузов и перевалочные [6]. Эти терминалы создаются для того, чтобы объединить грузы от нескольких отправителей и отправить их в одно место. На сегодняшний день автотранспортные терминалы выполняют много функций и широко используются в логистике [7-8].

Интерес к услугам автотранспортных терминалов проявляют не только владельцы грузов, но и компании, которые занимаются LTL-перевозками, логистические провайдеры и транспортные посредники. В терминалах, помимо основных функций, также выполняются

различные дополнительные операции, которые создают добавленную стоимость. При выборе места расположения терминала основным фактором является необходимость обслуживания большого числа объектов экономики в пределах рыночной зоны терминала.

Терминальная технология работает по принципу "хаб-энд-спик", когда терминалы размещаются в зоне обслуживания клиентов (рис. 1). Основная цель терминала в том районе, где находятся

грузоотправители, заключается в том, чтобы обеспечить промежуточную точку, где грузы с одинаковыми пунктами назначения собираются в одну отправку для дальнейшего перемещения к грузополучателям. Это делает перевозочный процесс более эффективным, в том числе с экологической точки зрения. Все участники процесса доставки активно взаимодействуют с работниками терминалов.

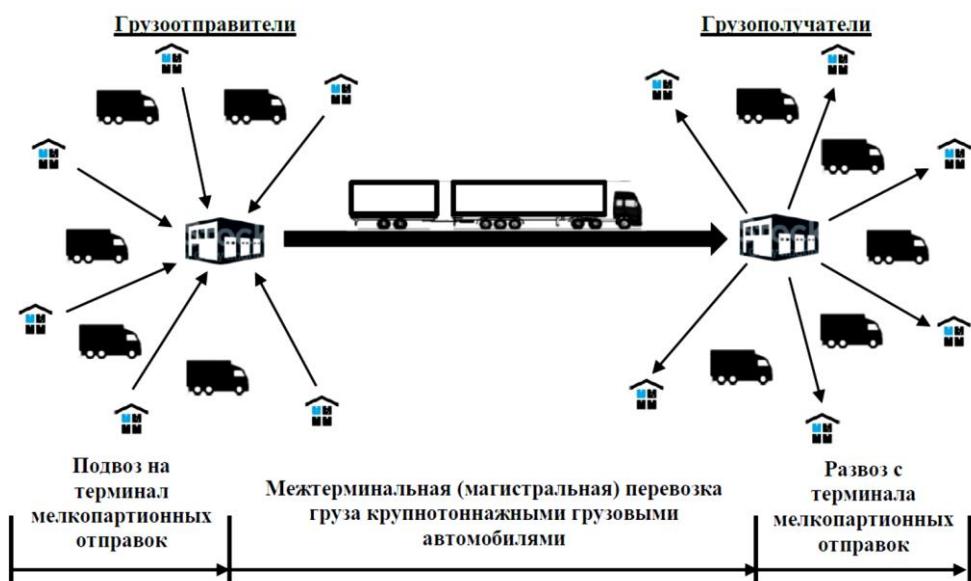


Рис. 1. Технология автомобильных терминальных перевозок

Автомобильная терминальная технология включает в себя пять этапов: сбор грузов → терминальные операции → межтерминальная перевозка → терминальные операции → развоз грузов.

Сбор и доставка грузов на терминал отправления происходит с помощью магистральных маршрутов (иногда используются грузовые машины владельцев) и сборных маршрутов с привлечением LTL-провайдеров. Для постоянных клиентов можно составить расписание, по которому будут вывозить их товары. На этом этапе активно

применяются разные логистические методы для оптимизации местных перевозок.

На терминале отправления происходит консолидация партий грузов и подготовка к магистральным перевозкам. Если нужно, грузы могут храниться на складе, обычно до двух суток. В специальных помещениях осуществляется упаковка и сборка товаров, кросс-докинг и другие логистические операции, чтобы предложить индивидуальный подход к клиентам. При международных перевозках на терминалах оформляются все необходимые

товаротранспортные, таможенные и страховые документы.

Для магистральной межтерминальной транспортировки грузов используются автопоезда, имеющие грузоподъёмность до 60 тонн [9]. Это помогает повысить эффективность транспортировки, уменьшить количество рейсов и сократить вредные выбросы. Например, такие автопоезда в Европе состоят из тягача, полуприцепа и дополнительного прицепа. В последнее время становятся популярными двухъярусные полуприцепы с поднимающейся крышей, которые позволяют удвоить грузоподъёмность автомобиля.

Терминальные операции на конечном терминале связаны в основном с разукрупнением поступивших грузов и подготовкой их к развозу клиентам: с сортировкой товара на меньшие партии, управлением ассортиментом, складированием и хранением (до 5 суток), а также комплектованием заказов для клиентов. Кроме этого, транспортный терминал может также выступать в роли распределительного склада, что улучшает логистическое обслуживание в регионе.

Развоз груза с терминала назначения к клиентам предполагает использование

методов первого этапа. Главное отличие – это оптимизация маршрутов развоза и процессов «последней мили», где могут учитываться такие факторы, как расстояние, выбросы или время. Чтобы повысить эффективность перевозок «последней мили», сейчас часто применяют многокритериальную оптимизацию.

#### Материалы и методы исследования.

Для расчёта по методике, приведенной в [10], величин основных выбросов при автомобильных терминальных перевозках воспользуемся схемой, представленной на рис. 1. Рассмотрим варианты прямой доставки товаров поставщиков до потребителей и через автотранспортные терминалы. Принимаем такие исходные данные: количество поставщиков – 6, количество потребителей – 6, количество вывозимого груза от каждого отправителя – 10 т, количество ввозимого груза каждому получателю – 10 т, расстояние подвоза и развоза грузов – 20 км. Расстояние между терминалами варьируем от 100 до 1500 км с шагом 100 км. Для перевозки грузов между терминалами используем автомобили грузоподъёмностью 20 и 30 т. Удельные значения вредных выбросов (ВВ) были приняты на основании методических рекомендаций [10] и приведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Удельные значения вредных выбросов [10]

Полная масса автомобиля, т	Экологический класс автомобиля	Наименование ВВ	Удельные значения ВВ, г/км
7,5-16	3 (Евро 3 и выше)	CO <sub>2</sub>	679,5
		SO <sub>2</sub> ,	0,741
		NO <sub>x</sub>	2,3
		PM	0,10
16-32	3 (Евро 3 и выше)	CO <sub>2</sub>	865,8
		SO <sub>2</sub> ,	1,054
		NO <sub>x</sub>	3,1
		PM	0,13
Более 32	3 (Евро 3 и выше)	CO <sub>2</sub>	980,0
		SO <sub>2</sub> ,	1,116
		NO <sub>x</sub>	4,7
		PM	0,18

Сравнение значений вредных выбросов по вариантам приведено на рис. 2, а на рис. 3 и 4 показаны графики зависимости снижения выбросов (в %) при терминальной перевозке от расстояния между терминалами.

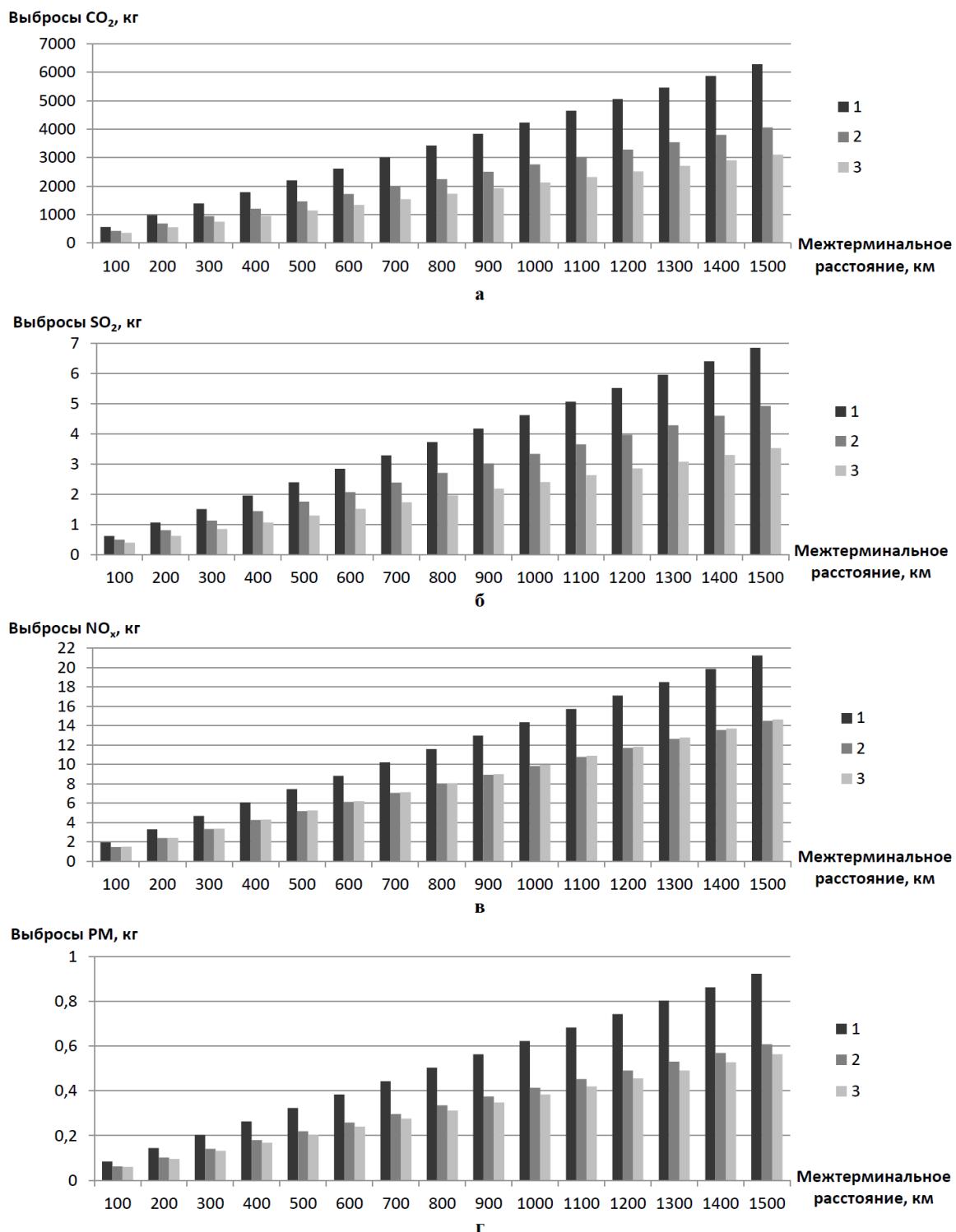


Рис. 2. Сравнение вредных выбросов при различных вариантах доставки груза:  
 а – диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ); б – диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ); в – оксид азота ( $\text{NO}_x$ ); г – твёрдые частицы (PM); 1 – прямая доставка автомобилями грузоподъёмностью 10 т; 2 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъёмностью 20 т; 3 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъёмностью 30 т

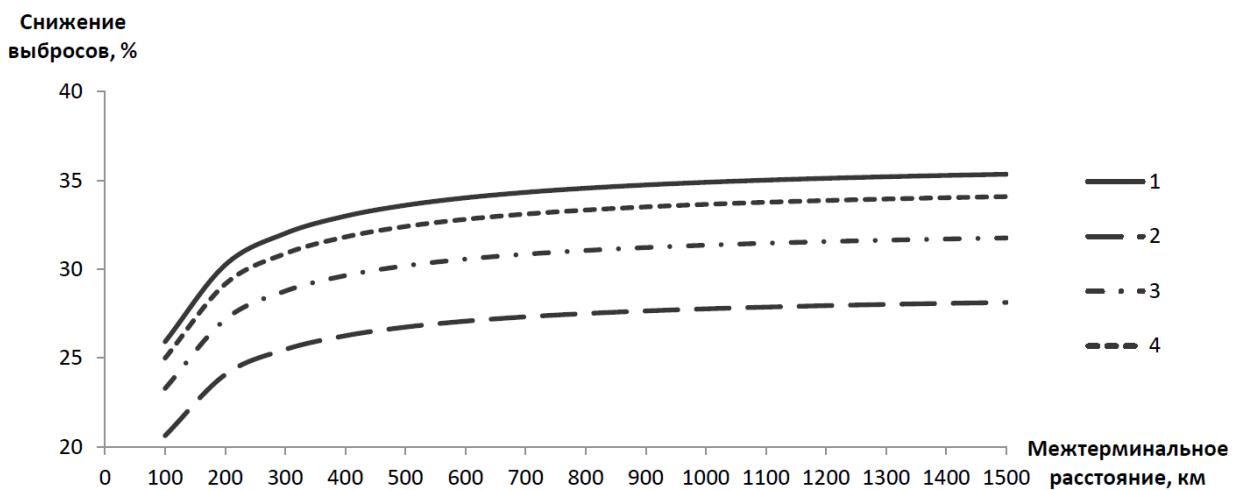


Рис. 3. Зависимости снижения выбросов при замене прямых перевозок на терминальные перевозки автопоездами грузоподъёмностью 20 т от расстояния между терминалами:

1 – диоксид углерода (CO<sub>2</sub>); 2 – диоксид серы (SO<sub>2</sub>); 3 – оксид азота (NO<sub>x</sub>); 4 – твёрдые частицы (PM)

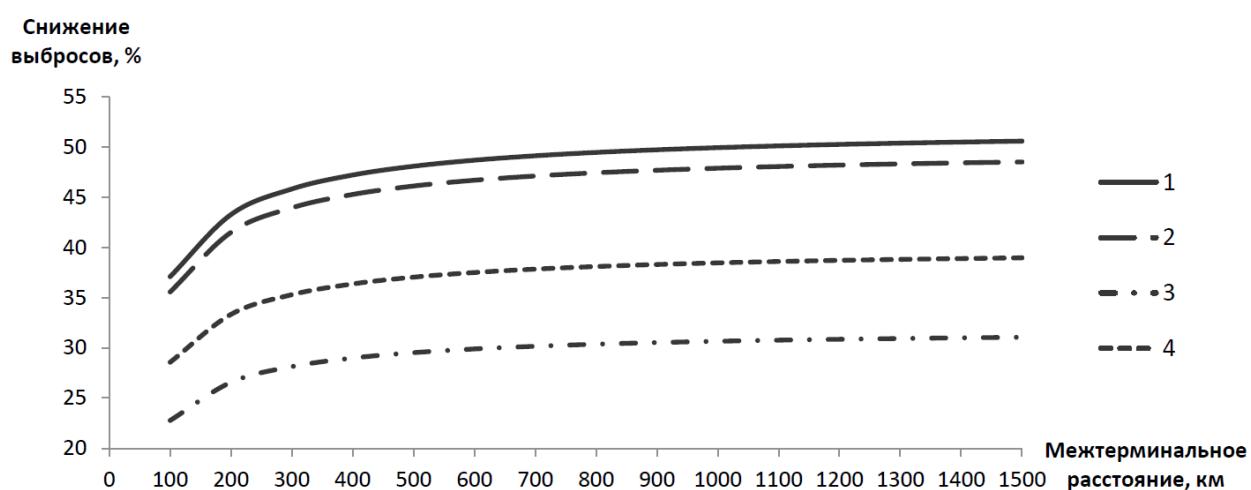


Рис. 4. Зависимости снижения выбросов при замене прямых перевозок на терминальные перевозки автопоездами грузоподъёмностью 30 т от расстояния между терминалами:

1 – диоксид углерода (CO<sub>2</sub>); 2 – диоксид серы (SO<sub>2</sub>); 3 – оксид азота (NO<sub>x</sub>); 4 – твёрдые частицы (PM)

Из анализа графиков (рис. 2 – 4) видно, что при использовании технологии автомобильных терминальных перевозок вредные выбросы значительно снижаются. Для автомобилей грузоподъёмностью 20 тонн это особенно заметно по диоксиду углерода и твёрдым частицам. А вот для автопоездов грузоподъёмностью 30 тонн сильнее всего уменьшаются выбросы диоксида углерода и диоксида серы. Когда расстояние между терминалами составляет

от 100 до 500 км, снижение выбросов проявляется очень заметно, но для больших расстояний это снижение проявляется в меньшей степени.

**Выводы.** В результате анализа стало ясно, что автомобильные терминальные перевозки значительно сокращают вредные выбросы по сравнению с обычными поставками небольших и средних партий товаров. Расчёты показали, что при увеличении расстояния между

терминалами до 1500 км выбросы CO<sub>2</sub> уменьшаются до 50%, SO<sub>2</sub> – до 48%, NO<sub>x</sub> – до 31% и PM – до 38%.

### Список источников

- Гладунов В.А., Бондаренко Е.М. Выбор оптимальных логистических схем поставок товаров из Китая в Российскую Федерацию при использовании контейнеров // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1 (64). – С. 15-23. DOI 10.52170/1815-9265\_2023\_64\_15.
- Батищев И.И., Можайская И.А. Некоторые тенденции развития грузового автомобильного транспорта в Российской Федерации и в европейских странах // Научный вестник автомобильного транспорта. – 2023. – № 3. – С. 3-9.
- Gil A.F., Lalla-Ruiz E., Sanchez M.G., Castro C. A Review of Heuristics and Hybrid Methods for Green Vehicle Routing Problems considering Emissions. Journal of Advanced Transportation. 2022; 5: 1-38. <https://doi.org/10.1155/2022/5714991>.
- Ленич С.В., Никишкин Ю.А. Формирование транспортно-складских цепей на принципах «зелёной» логистики // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». – 2022. – № 4. – С. 22-26.
- Ленич С.В. Применение инструментов «зелёной» логистики на автомобильном транспорте // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». – 2023. – № 12. – С. 53-56.
- Yang X. Green Hub Location-Routing Problem for LTL Transport. Doctoral Dissertation, University of Brittany Loire, Nantes, France, 2018.
- Кузьмина М.А., Надирян С.Л., Ачмиз Ш.М. Перспективы развития терминальной системы грузовых автомобильных перевозок в международном сообщении России // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 3. – С. 32-25.
- Heilig L., Voß S. Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda. Flexible Services and Manufacturing Journal. 2017; 29: 35-63. <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9237-7>.
- Файзуллин Г.Р. Организация магистральных автомобильных перевозок на терминальной технологии // Аллея науки. – 2019. – Т. 2. – № 12 (39). – С. 190-192.
- Расчетные инструкции (методики) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами и дорожно-строительными машинами в атмосферный воздух. – М.: Автополис-плюс, 2008. – 84 с.

### References

- Gladunov V.A., Bondarenko E.M. The choice of optimal logistics schemes for the supply of goods from China to the Russian Federation when using containers. Bulletin of the Siberian State University of Railways. 2023; 1 (64): 15-23. DOI 10.52170/1815-9265\_2023\_64\_15.
- Batischev I.I., Mozhaiskaya I.A. Some trends in the development of truck transport in the Russian Federation and in European countries. Scientific Bulletin of Road Transport. 2023; 3: 3-9.
- Gil A.F., Lalla-Ruiz E., Sanchez M.G., Castro C. A Review of Heuristics and Hybrid Methods for Green Vehicle Routing Problems considering Emissions. Journal of Advanced Transportation. 2022; 5: 1-38. <https://doi.org/10.1155/2022/5714991>.
- Lenich S.V., Nikischkin Yu.A. Formation of transport and warehouse chains based on the principles of "green" logistics. Scientific information collection "Transport: science, technology, management". 2022; 4: 22-26.
- Lenich S.V. Application of "green" logistics tools in road transport. Scientific information collection "Transport: science, technology, management". 2023; 12: 53-56.
- Yang X. Green Hub Location-Routing Problem for LTL Transport. Doctoral Dissertation, University of Brittany Loire, Nantes, France, 2018.
- Kuzmina M.A., Nadiryan S.L., Achmiz S.M. Prospects for the development of the terminal system of road freight transportation in the international communication of Russia. Science.

Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). 2022; 3: 32-25.

8. Heilig L., Voß S. Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda. Flexible Services and Manufacturing Journal. 2017; 29: 35-63, <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9237-7>.

9. Fayzullin G.R. Organization of trunk road transport on terminal technology. Alley of Science. 2019; 2-12 (39): 190-192.

10. Calculation instructions (methods) for the inventory of emissions of pollutants by motor vehicles and road construction machines into the atmospheric air. M.: Avtopolis-plyus; 2008.

*Статья поступила в редакцию 26.07.2025*

### Информация об авторах

**Тараraryчkin Игорь Александрович**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** donbass\_8888@mail.ru

**Ленич Сергей Васильевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 7101-0408, AuthorID: 1240916*

**E-mail:** mouselenich@yandex.ru

### Information about the authors

**Tararychkin Igor Aleksandrovich**, doctor of Technical Sciences, Professor, the head of the department "Transport technologies" of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**E-mail:** donbass\_8888@mail.ru

**Lenich Sergey Vasil'evich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department "Transport technologies" of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

*SPIN-код: 7101-0408, AuthorID: 1240916*

**E-mail:** mouselenich@yandex.ru

### Для цитирования:

Тараraryчkin И. А., Ленич С. В. Экологическая эффективность автомобильных терминальных перевозок // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 2(3). – С. 29-36.

### For citation:

Tararychkin I. A., Lenich S. V., Ecological efficiency of road terminal transportation // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 2 (3). – P. 29-36.

## БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

УДК 697.92

### ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИХРЕВЫХ УСТРОЙСТВ

Гусенцова Я. А., Дейнека И. Г., Понамаренко А. Н., Макаровская Л. В.

### IMPROVING THE RELIABILITY OF FLOW CONTROL SYSTEMS FOR VENTILATION SYSTEMS USING VORTEX DEVICES

Gusentsova Ya. A., Deineka I. G., Ponamarenko A. N., Makarovskaya L.

**Аннотация.** Рассмотрены методы повышения надежности систем регулирования расхода воздуха вентиляционных установок, используемых в системах обеспечения требуемых параметров микроклимата помещений, создания безопасных условий труда. Основное внимание уделено применению вихревых устройств, которые позволяют улучшить точность и стабильность регулирования воздушных потоков.

Предложены инновационные решения, основанные на использовании физических принципов вихревой динамики, что способствует повышению энергоэффективности и снижению вероятности отказов вентиляционных систем.

Проведен анализ эффективности предложенных методов, рассмотрены практические аспекты их реализации. Результаты исследований демонстрируют значительное улучшение надежности и производительности систем регулирования расхода вентиляционных установок, что особенно важно для обеспечения безопасности на объектах с повышенными требованиями к системам вентиляции.

**Ключевые слова:** регулирование, надежность, безопасность жизнедеятельности, вентиляционные системы, вихревые устройства.

**Abstract.** The methods of increasing the reliability of air flow control systems for ventilation systems used in systems to ensure the required parameters of indoor climate and to create safe working conditions are considered. The main focus is on the use of vortex devices, which can improve the accuracy and stability of air flow control. Innovative solutions based on the use of the physical principles of vortex dynamics are proposed, which helps to increase energy efficiency and reduce the likelihood of ventilation system failures. The effectiveness of the proposed methods is analyzed, and the practical aspects of their implementation are considered. The research results demonstrate a significant improvement in the reliability and performance of flow control systems, which is especially important for ensuring safety at facilities with high requirements for ventilation systems.

**Key words:** regulation, reliability, safety of life, ventilation systems, vortex devices.

**Введение.** Вентиляционные установки играют ключевую роль в обеспечении нормативных параметров воздушной среды (расхода, давления, чистоты). Однако традиционные системы регулирования расхода (дроссельные заслонки, шиберы, клапаны) обладают рядом недостатков:

- высокая инерционность регулирования;
- износ регулирующих элементов, необходимость частого обслуживания;
- существенные потери давления в системе;
- снижение энергоэффективности систем регулирования в целом.

Применение вихревых устройств (вихревых регуляторов, генераторов закрученного потока) может повысить надежность и эффективность управления расходом в вентиляционных системах.

Преимущества использования вихревых устройств заключаются в повышении надежности, безынерционном регулировании за счет изменения структуры потока, возможности применения в системах с высокими требованиями к чистоте воздуха.

Таким образом, применение вихревых устройств в системах регулирования расхода вентиляционных установок позволяет повысить их надежность за счет безмеханического регулирования, снизить энергопотребление и улучшить динамические характеристики системы.

**Цель и задачи исследования.** Статья направлена на комплексное доказательство того, что вихревые устройства способны повысить надежность, экономичность и долговечность систем регулирования расхода, предлагая инновационную альтернативу традиционным методам.

**Материалы и методы.** В процессе исследования использованы

характеристики традиционных систем регулирования (заслонки, дроссельные клапаны) для сравнительного анализа, статистическая обработка результатов исследования.

Дальнейшие исследования и внедрение вихревых технологий могут значительно повысить эффективность систем вентиляции в критически важных объектах инфраструктуры. Перечисленное определило направление исследований статьи.

Основные функции и назначение вентиляции в контексте БЖД включают: обеспечение качества воздуха, контроль температуры и влажности, защита от опасных ситуаций, соблюдение санитарно-гигиенических норм, психологический комфорт [1, 5].

Таким образом, системы регулирования расхода в устройствах вентиляции и БЖД обеспечивают безопасность, комфорт, энергоэффективность и надежность работы оборудования, что делает их неотъемлемой частью современных инженерных систем.

В настоящее время конструкции приводов вентиляционных систем развиваются по трем направлениям [2, 3]:

- конструктивному;
- схемному;
- использованию различных физических эффектов передачи и преобразования сигналов [9, 10].

Последний является наиболее перспективным. Это подчеркивает необходимость проведения дальнейших исследований для создания эффективных и экономичных устройств, методов их расчета и моделирования.

Отметим ряд преимуществ струйных и вихревых устройств по сравнению с пневматическими, гидравлическими и

другими [4, 8]. Это простота конструкции: отсутствие подвижных частей, высокая надежность в условиях загрязненной среды.

Исходя из этого, **актуальной является задача** повышения надежности систем вентиляции использованием вихревых элементов управления.

**Результаты исследований.** В работе выполнено сравнение надежности приводов вентиляционных систем с различными системами регулирования расхода

подаваемого в помещение воздуха: с использованием стандартной механической аппаратуры и построенной с использованием вихревых регулирующих устройств.

Вихревое устройство может быть установлено на выходе вентиляционной системы (рис. 1) или на ее входе (рис. 2), что соответствует типичной установке механических регулирующих органов [6, 11].

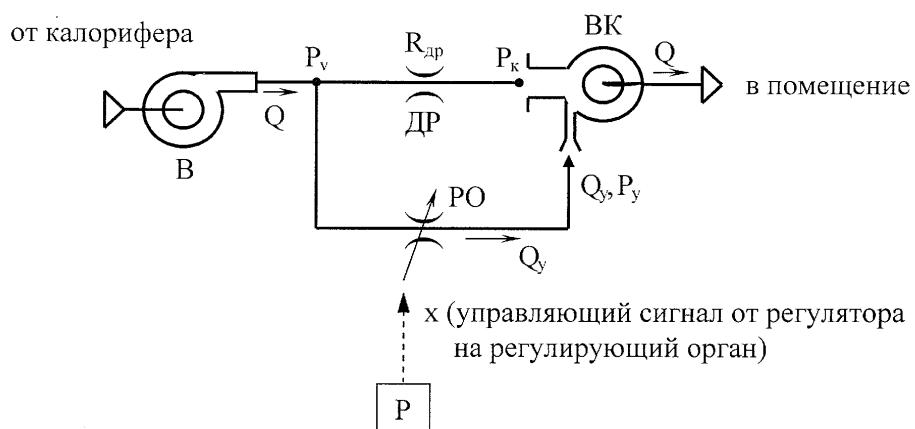


Рис. 1. Схема системы вентиляции с вихревым клапаном в линии нагнетания вентилятора

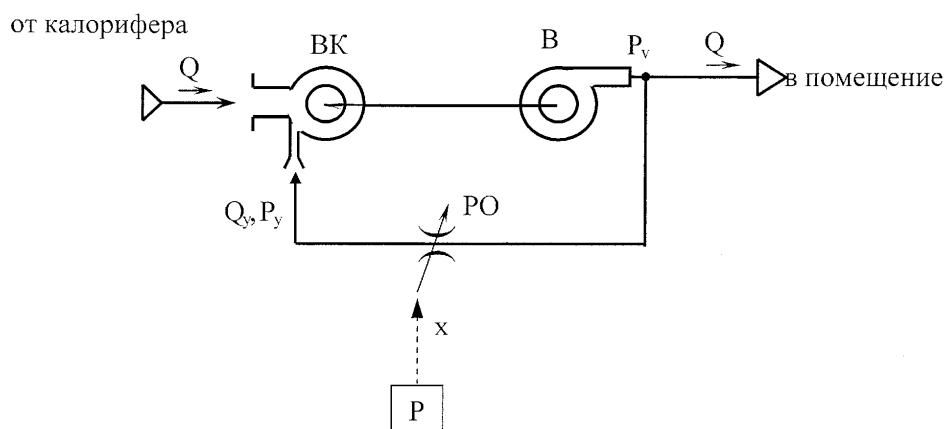


Рис. 2. Схема вентиляционной системы с вихревым клапаном в линии всасывания

На рисунках приняты следующие обозначения: В – вентилятор; ВК – вихревой клапан; ДР – дроссель; РО – регулирующий орган в канале управления;  $x$  – перемещение рабочего элемента РО; Р – регулятор.

Анализ надежности системы вентиляции проведем, используя принцип декомпозиции, для чего разобьем систему на простые элементы, учитывая, что выходные параметры элементов могут по-разному влиять на выходные параметры

всей системы. На основе этого оценим работоспособность системы регулирования с вихревыми элементами в целом.

Модель надежности работы привода устанавливает функциональную связь между показателями надежности отдельных его элементов с их технико-эксплуатационными показателями [2, 7]:

$$P(t) = P \left[ F(P_i, t_i, N) \cdot U(\delta_i, T_i, t_i, N) \right], \quad (1)$$

где  $F$  – функциональное представление структуры привода и взаимосвязи его частей в момент времени  $t_i$ ;

$P_i$  – показатель надежности  $i$ -того устройства привода;

$N$  – количество устройств в приводе;

$U$  – оператор, определяющий степень влияния возмущающих и эксплуатационных факторов на показатели надежности;

$\delta_i, T$  – объем и регламент технического обслуживания в процессе эксплуатации.

Если при расчете надежности привода учтено  $N$  элементов, между которыми имеется статистическая связь, то для каждого элемента в отдельности известны показатели надежности ( $P$ ). В системе каждый из элементов может находиться в одном из двух состояний:  $A$  – безотказном и  $\bar{A}_i$  – в состоянии отказа. Тогда вероятность того, что совместно произойдет  $N$  событий, когда все элементы привода находятся в исправном состоянии, определяется зависимостью:

$$P = P(\cap A_i) = 1 - P(\cap \bar{A}_i).$$

Между событиями  $A_i$  и  $A_j$  существует корреляционная связь, определяемая коэффициентом корреляции:

$$\rho_{AiAj} = \frac{P(A_i \cap A_j) - P(A_i)P(A_j)}{\sqrt{P(A_i)P(A_j)[1 - P(A_i)][1 - P(A_j)]}}, \quad (2)$$

где  $P(A_i \cap A_j)$  – вероятность одновременного появления событий  $A_i$  и  $A_j$ ;

$P(A_j)$  – вероятность появления события  $A_i$ .

Введем функцию  $y = y(\rho_{AiAj})$ ,  $i = 1, \bar{N}, j = 1, \bar{N}$  коэффициента корреляции между событиями  $A_i$  и  $A_j$ .

Тогда

$$P(\cap A_i) = \prod_{i=1}^N P(A_i) + \int_0^y \frac{\partial P(\cap A_i)}{\partial y} dy. \quad (3)$$

При этом предполагается, что  $\frac{\partial P(\cap A_i)}{\partial y}$  – существует. Далее следует, что:

$$\int_0^y \frac{\partial P(\cap A_i)}{\partial y} dy = P_m - \prod_{i=1}^N P(A_i) = B_0; \\ \int_0^y \frac{\partial P(\cap A_i)}{\partial y} dy = B_0 - \int_0^y \frac{\partial P(\cap A_i)}{\partial y} dy = B_0 K_N, \quad (4)$$

где  $P_m = \min_i P(A_i)$  – минимальное значение  $P_i$ ;

$$B_0 = P_m - \prod_{i=1}^N P(A_i); K_N = 1 - \frac{1}{B_0} \int_0^y \frac{\partial P(\cap A_i)}{\partial y} dy. \quad (5)$$

Коэффициент  $K_N$ , учитывающий статистическую взаимосвязь между отказами элементов привода, можно определить из соотношения:

$$K_N = \frac{2}{\pi c} \sum_{i=1}^N \arcsin \rho_{AiAj}, \quad (6)$$

где  $c = \frac{N(N-1)}{2}$ .

Если  $i < 1$  то в  $K_N$  входят только те коэффициенты корреляции, для которых  $i < j$ .

Вероятность безотказной работы  $P$  последовательного соединения элементов [4, 6]:

$$P = \prod_1^n P_i,$$

где  $P_i$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента.

При эксплуатации вентиляционной системы для интенсивности отказов справедлив закон надежности:

$$P(t) = \exp(-\lambda t).$$

Тогда, для последовательного соединения  $n$  элементов уравнение принимает вид:

$$P(t) = \exp\left[-\sum_1^n \lambda_i t_i\right], \quad (7)$$

где  $\lambda_i, t_i$  – интенсивность отказов и время исправной работы  $i$ -го элемента.

Таким образом, для расчета надежности сложной системы достаточно знать состав элементов, их количество, схему соединений и статистические характеристики показателей надежности каждого элемента.

Расчет показателей надежности по структурным схемам проводился по блокам и узлам привода по следующей схеме «механоэлектрический преобразователь – линия связи – электромеханический преобразователь – вихревое устройство, объединяющее в себе исполнительный механизм и регулирующий орган».

Данные об интенсивности отказов  $\lambda$  элементов системы определены при доверительной вероятности  $\alpha = 0,9$  [2].

**Выводы.** В статье рассмотрены актуальные вопросы повышения надежности систем управления расходом вентиляционных установок, используемых в системах вентиляции. Предложено применение и вихревых устройств, которые позволяют улучшить точность регулирования расхода воздуха, снизить энергопотребление и повысить устойчивость работы систем вентиляции в условиях переменных нагрузок.

Использование технологий обеспечивает значительное повышение надежности и эффективности систем управления, что особенно важно для объектов с повышенными требованиями к безопасности, таких как промышленные предприятия, медицинские учреждения и объекты инфраструктуры. Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения предложенных решений в действующие системы вентиляции, что позволит снизить эксплуатационные затраты, минимизировать риск аварийных ситуаций и повысить общий уровень безопасности.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании новых и модернизации существующих систем вентиляции, что делает их востребованными для широкого круга специалистов в области безопасности жизнедеятельности и энергоэффективности.

На основании расчетов и проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что за счет применения вихревого устройства управления расходом воздуха можно повысить надежность системы регулирования на 5%.

Таким образом, использование вихревых устройств в системах регулирования пневматическими и

гидравлическими приводами позволяет существенно повысить их надежность, что является важным фактором для систем обеспечения безопасности жизнедеятельности.

#### Список источников

- ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>.
- Гусенцова Я. А. Вопросы надежности вентиляционных систем промышленных предприятий / Я. А. Гусенцова, Б.В. Назаренко, С.А. Письменная // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2022. – № 5(59). – С. 75-78. – EDN NVNHWА.
- Гусенцова Я.А. Вихревые устройства в системах вентиляции / Я.А. Гусенцова, Е.А. Иващенко, А.А. Коваленко и [др.]. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2006. – 296 с.
- Иванов А.В. Надежность систем управления расходом вентиляционных установок с использованием струйных и вихревых устройств / А.В. Иванов, Б.С. Петров // Безопасность жизнедеятельности. – 2022. – № 5. – С. 45 – 52.
- Козлов В.П. Вихревые устройства в системах безопасности жизнедеятельности / В. П. Козлов // Наука и техника в газовой промышленности. – 2020. – № 4. – С. 89 – 95.
- Григорьев Д.И. Интеграция струйных и вихревых устройств в системы управления вентиляцией / Д. И. Григорьев, Л.М. Фёдорова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2022. – № 6. – С. 34-40.
- Оевые вентиляторы. Способы реверсирования / Я.А. Гусенцова, В.В. Бугаенко, А.В. Голдованский, С. А. Письменная // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. – 2022. – № 2(39). – С. 113-119. – EDN PTMFBG.
- Петрова Е.А. Струйные технологии в системах управления расходом воздуха / Е.А. Петрова // Вестник инженерных технологий. – 2023. – № 2. – С. 67– 73.
- Сидоров, К.Л. Современные подходы к управлению вентиляционными системами с использованием вихревых устройств / К.Л. Сидоров, М.Н. Кузнецов // Инженерные системы и безопасность. – 2021. – № 3. – С. 12 – 18.
- Kumar, S., & Patel, R. (2019). Vortex Flow Control in Ventilation Systems: A Review of Reliability and Performance. *Energy and Buildings*, 198, 1-15. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.06.012.
- Lee, C., & Kim, D. (2022). Integration of Jet and Vortex Technologies in Smart Ventilation Systems for Enhanced Reliability. *Applied Energy*, 305, 117-130. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.117130.

#### References

- GOST 12.1.005-88. General sanitary and hygienic requirements for the air in the working area. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>.
- Gusentsova Ya. A. Reliability issues of ventilation systems of industrial enterprises / Ya. A. Gusentsova, B.V. Nazarenko, S.A. Pismennaya // Bulletin of Vladimir Dahl Luhansk State University. – 2022. – No. 5(59). – P. 75-78. – EDN NVNHWА.
- Gusentsova Ya. A. Vortex devices in ventilation systems / Ya. A. Gusentsova, E.A. Ivaschenko, A.A. Kovalenko, and [others]. – Luhansk: Publishing house of Vladimir Dahl Luhansk National University. V. Dalya, 2006. – 296 p.
- Ivanov A.V. Reliability of Flow Control Systems for Ventilation Units Using Jet and Vortex Devices / A.V. Ivanov, B.S. Petrov // Life Safety. – 2022. – No. 5. – Pp. 45–52.
- Kozlov V.P. Vortex Devices in Life Safety Systems / V. P. Kozlov // Science and Technology in the Gas Industry. – 2020. – No. 4. – Pp. 89–95.
- Grigoriev D.I. Integration of Jet and Vortex Devices into Ventilation Control Systems / D. I. Grigoriev, L.M. Fedorova // Energy Saving and Water Treatment. – 2022. – No. 6. – Pp. 34–40.
- Axial Fans. Reversal Methods / Ya. A. Gusentsova, V. V. Bugayenko, A. V. Goldovansky, S. A. Pismennaya // Resource-Saving Technologies for the Production and Forming of Materials in Mechanical Engineering. – 2022. – No. 2(39). – Pp. 113–119. – EDN PTMFBG.
- Petrova, E. A. Jet Technologies in Air Flow Control Systems / E. A. Petrova // Bulletin of Engineering Technologies. – 2023. – No. 2. – Pp. 67–73.
- Sidorov, K. L. Modern Approaches to Controlling Ventilation Systems Using Vortex

Devices / K. L. Sidorov, M. N. Kuznetsov // Engineering Systems and Safety. – 2021. – No. 3. – P. 12 – 18.

10. Kumar, S., & Patel, R. (2019). Vortex Flow Control in Ventilation Systems: A Review of Reliability and Performance. *Energy and Buildings*, 198, 1-15. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.06.012.

### Информация об авторах

**Гусенцова Яна Алимовна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Автор ID: 1172844, SPIN-код: 1759-8513.

E-mail: gusentsova@gmail.com

**Дейнека Инесса Григорьевна**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой легкой и пищевой промышленности Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Автор ID: 855491, SPIN-код: 4465-3168

E-mail: igdeineka@mail.ru

**Понамаренко Андрей Николаевич**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: ponamarenko.andrey@inbox.ru

**Макаровская Лариса Васильевна**, ассистент кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени В. Даля, г. Луганск.

E-mail: lara.makarovskaya.73@mail.ru

### Для цитирования:

Гусенцова Я.А., Дейнека И.Г., Понамаренко А.Н., Макаровская Л.В. Повышение надежности систем регулирования расхода вентиляционных установок использованием вихревых устройств // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 2(3). – С. 37-43.

### For citation:

Gusentsova Ya., Deineka I., Ponamarenko A., Makarovskaya L. Improving the reliability of flow control systems for ventilation systems using vortex devices // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 2 (3). – P. 37-43.

11. Lee, C., & Kim, D. (2022). Integration of Jet and Vortex Technologies in Smart Ventilation Systems for Enhanced Reliability. *Applied Energy*, 305, 117-130. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.117130.

Статья поступила в редакцию 14.07.2025

### Information about the authors

**Gusentsova Yana Alimovna**, doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Author ID: 1172844, SPIN-код: 1759-8513.

E-mail: gusentsova@gmail.com

**Deineka Innesa Grigorievna**, doctor of Technical Sciences, professor, Head of the department of light and food industry of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Author ID: 855491, SPIN-код: 4465-3168

E-mail: igdeineka@mail.ru

**Ponomarenko Andrey Nikolaevich**, senior lecturer of Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

E-mail: ponamarenko.andrey@inbox.ru

**Makarovskaya Larisa Vasilevna**, assistant lecturer of Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

E-mail: lara.makarovskaya.73@mail.ru

УДК 614.84

## РАССМОТРЕНИЕ ВОПРОСА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОСЕТИТЕЛЕЙ ГЛЭМПИНГОВ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ И Г. СЕВАСТОПОЛЯ

Матвеев В. А., Ничкова Л. А.

## CONSIDERATION OF THE ISSUE OF FIRE SAFETY FOR VISITORS TO GLAMPINGS IN THE REPUBLIC OF CRIMEA AND THE CITY OF SEVASTOPOL

Matveev V. A., Nichkova L. A.

**Аннотация.** Актуальность исследования обусловлена растущей популярностью глэмпингов как объектов экотуризма в Республике Крым и г. Севастополе, а также увеличением числа пожаров на подобных объектах. Отсутствие специальных нормативных требований к пожарной безопасности глэмпингов, их конструктивные особенности повышают риски для посетителей, включая проблемы эвакуации и доступности для маломобильных групп. Необходимость разработки мер по минимизации этих рисков подтверждается расчетом индивидуального пожарного риска, который демонстрирует соответствие нормам при реализации предложенных решений.

**Ключевые слова:** глэмпинг, пожарная безопасность, пожарный риск, нормативные требования, модульные конструкции, эвакуация.

**Abstract.** The relevance of the study is due to the growing popularity of glamping sites as ecotourism attractions in the Republic of Crimea and the city of Sevastopol, as well as the increasing number of fires at such sites. The lack of specific regulatory requirements for fire safety in glamping sites and their design features increase risks for visitors, including evacuation and accessibility issues for people with limited mobility. The need to develop measures to minimize these risks is confirmed by the calculation of individual fire risk, which demonstrates compliance with standards when implementing the proposed solutions.

**Key words:** glamping, fire safety, fire risk, regulations, modular structures, evacuation.

---

**Введение.** За туристический сезон в 2025 году, согласно статистическим данным, Крымский полуостров посетило 5,3 миллиона отдыхающих. Значительной популярностью пользуются относительно недорогие частные гостиницы или глэмпинги. Глэмпинги (glamping – glamorous camping) – это современный вид экотуризма, сочетающий комфорт отельного отдыха с близостью к природе.

Согласно данным Российского союза турииндустрии (РСТ), количество глэмпингов в России выросло с 550 в 2023 году до как минимум 700 в 2024-м, а в 2025–2027 годах на их строительство выделят 15 млрд рублей субсидий, что подтверждает возрастающий интерес населения к данному виду экотуризма.

В Республике Крым и г. Севастополе глэмпинги часто представляют собой

временные или стационарные быстровозводимые конструкции: юрты, палатки, дома из СИП-панелей, контейнеры или модульные здания на открытой территории. В связи с относительно простотой монтажа данных конструкций, не требующей грузоподъемных машин и

механизмов, наличия ровного рельефа местности, в Республике Крым и г. Севастополе глэмпинги можно встретить как на прибрежной защитной полосе, так и на участках со значительным уклоном (рис. 1), так как такие объекты являются быстровозводимыми и некапитальными.



а



б

Рис. 1. Примеры глэмпингов в Республике Крым и г. Севастополе:  
а – глэмпинг в г. Евпатории, Республика Крым; б – глэмпинг в г. Севастополе

Таблица 1

#### Пожары в глэмпингах

Дата пожара	Объект, местоположение	Краткое описание пожара
июль 2023 г.	глэмпинг «Таврида», г. Феодосия, Республика Крым	В молодежном глэмпинге «Таврида.АРТ» (Феодосия) загорелись деревянные домики от искр от костра. Пожар охватил 5 конструкций на площади 200 м <sup>2</sup> ; эвакуировано 150 человек
август 2024 г.	глэмпинг в бухте Ласпи, г. Севастополь	Огонь возник в административном здании комплекса модульных некапитальных сооружений. На прилегающей территории горела и сухая трава. Площадь пожара составляла 225 кв. м
апрель 2025	глэмпинг «Остров», Некрасовский муниципальный округ, Ярославская область	Причиной возгорания стало неосторожное обращение с огнем. У сторожа загорелась портативная газовая горелка в деревянном доме в тот момент
июль 2025	глэмпинг «Ёлки», Зеленодольский район, Республика Татарстан	Огонь охватил кровлю бани. В результате пожара никто не пострадал. Возгорание локализовали на площади 30 «квадратов»
сентябрь 2025 г.	глэмпинг «Северное сияние», Кольский район, Мурманская область	Огонь повредил стены и потолок глэмпинга по всей площади. В результате пожара никто не пострадал

Однако такая специфика несет в себе повышенные риски, особенно в плане пожарной безопасности, отсутствие

подъезда пожарного транспорта к месту возгорания, отсутствие мероприятий по доступности маломобильных групп

населения, что в свою очередь несет в себе риски обеспечения безопасной эвакуации при пожаре, риск возникновения природного пожара. Обеспечение пожарной безопасности в них имеет свои особенности из-за сезонного характера, использования легковоспламеняющихся материалов и удаленности от городской инфраструктуры. В статистических данных МЧС РФ не выделяет глэмпинги в отдельную группу, согласно нормативной и статистической документации глэмпинги учитываются совместно с кемпингами (за 2024 г. зафиксировано 50 случаев возгорания). Для примера рассмотрим известные пожары в глэмпингах за последние 5 лет (табл. 1).

Анализируя данные в табл. 1, можно сделать вывод, что основными причинами возгорания являются:

- неосторожное обращение с огнем;
- несоблюдение правил использования электроприборов;
- отсутствие в достаточном количестве средств пожаротушения.

При рассмотрении нормативной документации по вопросу обеспечения пожарной безопасности обнаружено следующее: нормативная база не содержит специальных требований именно к глэмпингам. Поэтому применяют общие правила для кемпингов, гостиниц и временных сооружений. Таким образом, основными регламентирующими документами для глэмпингов являются: Федеральный закон №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 г., Правила противопожарного режима в РФ (утв. Постановлением Правительства РФ №1479 от 16.09.2020), а также ГОСТ Р 58187-2018 «Туристские услуги. Кемпинги. Общие требования» [2].

Глэмпинги классифицируются как кемпинги или временные места проживания (класс Ф4.6 по ФЗ №123-ФЗ), с учетом степени огнестойкости (обычно III–IV) [1]. Требования нормативной документации по вопросу обеспечения пожарной безопасности аналогичны кемпингам и представлены в табл. 2 [1, 4, 5].

Таблица 2

#### Требования к обеспечению пожарной безопасности глэмпингов

Нормативный документ	Основные требования
ФЗ №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»	ст. 35, п. 1 Конструкции не ниже III–IV степени огнестойкости (REI 45–60)
	ст. 53, п. 2 Класс функциональной пожарной опасности Ф1.2 (временное размещение людей)
	ст. 58, п. 1 Декларация пожарной безопасности обязательна для объектов с пребыванием более 50 человек
СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям».	п. 4.3 Минимальные расстояния при степени огнестойкости и классе конструктивной пожарной опасности жилых и общественных зданий составляют 10 м
	п. 4.14 Противопожарные расстояния до лесных насаждений от некапитальных, временных сооружений (построек) должны составлять не менее 15 м
СП 1.13130.2020 «Система противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы»	п. 4.2.19 Ширина эвакуационных выходов должна быть, как правило, не менее 0,8 м
	п. 9.3.3 Ширина горизонтальных участков путей эвакуации должна предусматриваться не менее 1,2 м

**Основная часть.** Объектом исследования является глэмпинг, расположенный в районе Орлиновского лесничества г. Севастополя, представляющий из себя комплекс модульных зданий некапитального строительства, включающий глэмпинги, административные и общественные

сооружения. Согласно планировке, объект включает около 30 модульных зданий, предназначенных для размещения гостей. Модули – это некапитальные конструкции на металлическом каркасе с деревянной обшивкой, что повышает риск возгорания из-за горючих материалов (рис. 2).

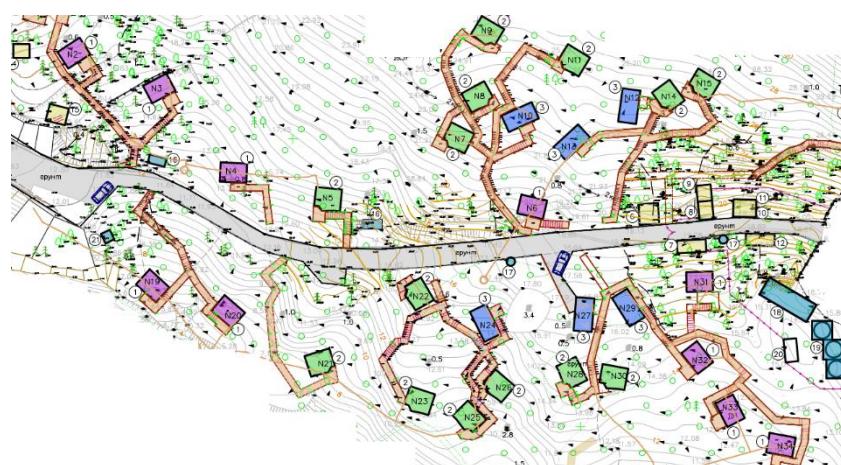


Рис. 2. Генеральный план территории глэмпинга в г. Севастополе

Расчетная вместимость – 72 человека. Здания относятся к классу Ф1.2 (гостиницы). Территория – холмистый рельеф с уклоном 6-20°, покрытый травой, лиственными и хвойными деревьями, что увеличивает риск лесных пожаров. Для обеспечения пожарной безопасности предложено установить радиоканальную систему "Стрелец-ПРО" с извещателями "Аврора-ДО-ПРО" в каждом модуле, передача сигналов в ЦППС МЧС по радиоканалу 27 МГц, GSM/GPRS и Ethernet. Для обеспечения противопожарного водоснабжения предложена установка пожарных резервуаров объемом 30 м<sup>3</sup> с установкой на территории 2 гидрантов [8, 10]. Также предлагается обработать деревянные конструкции огнезащитным составом, установить средства пожаротушения в каждом модуле [7]. Для обеспечения эвакуации для маломобильных групп

населения на путях эвакуации обустроить зоны безопасности, установить пандусы, разработать часть модулей с учетом потребностей маломобильных групп населения.

Для подтверждения актуальности предложений был проведен расчет величины пожарного риска. Расчет пожарного риска – это соотношение между временем, необходимым для эвакуации людей с объекта, и временем, через которое опасные факторы пожара наберут силу, достаточную для гибели людей [3]. При проведении расчета пожарного риска руководствуются требованиями действующих нормативных документов, таких как:

– Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изменениями и дополнениями);

- ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с изменениями и дополнениями);
- Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности». Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382 (с изменениями и дополнениями);
- Постановление Правительства Российской Федерации от 22 июля 2020 года №1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска»;
- СП 505.1311500.2021 «Расчет пожарного риска. Требования к оформлению»;
- СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы»;
- СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты»;
- СП 3.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности».

Методика определения расчетных величин пожарного риска, утвержденная Приказом МЧС России от 30.06.2009 №

382, определяет индивидуальный пожарный риск ( $Q_B$ ) как максимальное значение по всем рассматриваемым сценариям пожара в здании:

$$Q_{B,i} = Q_{\pi,i} \cdot (1 - K_{\text{ап},i}) \cdot P_{\pi,i} \cdot (1 - P_{\text{э},i}) \cdot (1 - K_{\pi,3,i}), \quad (1)$$

где  $Q_{\pi,i}$  – частота возникновения пожара в здании в течение года, определяется по статистическим данным;  $K_{\text{ап},i}$  – коэффициент эффективности системы автоматического пожаротушения (0,9 – при наличии системы или отсутствии требования к ней; 0 – в иных случаях);  $P_{\pi,i}$  – вероятность пребывания людей в здании;  $P_{\text{э},i}$  – вероятность эвакуации людей (рассчитывается по формуле, учитывающей время эвакуации, начало эвакуации, блокирование путей и скопления; значения от 0 до 0,999);  $K_{\pi,3,i}$  – коэффициент соответствия системы противопожарной защиты требованиям (рассчитывается с учетом коэффициентов пожарной сигнализации, оповещения, противодымной защиты; значение от 0 до 1) [3, 6, 9]. Результаты расчета индивидуального пожарного риска по одному модулю представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Расчет индивидуального пожарного риска одного модуля в глэмпинге**

Параметр	Описание	Значение для одного модуля
$Q_{\pi,i}$	Частота возникновения пожара в здании в течение года	0,0281
$K_{\text{ап},i}$	Коэффициент эффективности системы автоматического пожаротушения	0,9
$P_{\pi,i}$	Вероятность пребывания людей в здании	1
$P_{\text{э},i}$	Вероятность эвакуации людей	0,999
$K_{\pi,3,i}$	Коэффициент соответствия системы противопожарной защиты требованиям	0,992
$Q_B$	Индивидуальный пожарный риск	$2,02 \cdot 10^{-7}$

Таким образом, анализируя данные в табл. 3, можно сделать вывод, что результаты расчета индивидуального пожарного риска соответствуют нормам. Полученные результаты подтверждают правильность предложенных мероприятий по повышению пожарной безопасности глэмпингов в Республике Крым и г. Севастополе.

**Выводы.** Актуальность работы обусловлена двумя факторами: значительной популярностью глэмпингов как объектов экотуризма в Республике Крым и г. Севастополе, и возросшим числом пожаров на данных объектах.

Проведен анализ основных причин возгорания и нормируемых требований к данным объектам. В рассматриваемом объекте предложено обработать деревянные конструкции огнезащитным составом, установить средства пожаротушения в каждом модуле. Для обеспечения эвакуации для маломобильных групп населения на путях эвакуации обустроить зоны безопасности, установить пандусы, разработать часть модулей с учетом потребностей маломобильных групп населения. Озвученные в статье предложения также возможно использовать на других объектах при условии соблюдения требований ФЗ №123-ФЗ.

Актуальность данных предложений и соответствие объекта требованиям пожарной безопасности подтверждалось расчетом значений индивидуального пожарного риска и сравнением с нормативным значением.

#### Список источников

1. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 25.12.2003) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. ГОСТ Р 58187-2018 "Туристские услуги. Кемпинги. Общие требования". – М.: Стандартинформ, 2018.
3. Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 "Об утверждении Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности" (с изменениями и дополнениями). – М.: МЧС России, 2009.
4. СП 1.13130.2020 "Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы". – М.: Стандартинформ, 2020.
5. СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям». – М.: Стандартинформ, 2013.
6. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». – М. : ВНИИПО, 2014. – 226 с.
7. Юркин Г. Ю. Использовании антиприренов для тентовых и палаточных тканей / Г. Ю. Юркин, Р. Г. Шубкин // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 23 апреля 2021 года. – Железногорск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирская пожарно-спасательная академия" Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий", 2021. – С. 40-43. – EDN VOJDYF.
8. Матвеев В. А. Повышение огнестойкости и усиление конструкций при реставрации и ремонте объектов Республики Крым и г. Севастополь / В. А. Матвеев, Л. А. Ничкова // Методология безопасности среды жизнедеятельности : сборник научных трудов

XVII Международной научно-практической конференции, Симферополь, 14–17 октября 2024 года. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2024. – С. 257-260. – EDN IUYIHJ.

9. Матвеев В. А. Методы расчета и снижения пожарного риска на примере объекта культурного наследия регионального значения «Дом жилой 1900-е гг.» / В. А. Матвеев, Л. А. Ничкова // Экономика строительства и природопользования. – 2023. – № 4(89). – С. 74-80. – EDN LOJZJH.

10. Хоанг Т.Д. Выбор системы оповещения и управления эвакуацией при пожаре / Т.Д. Хоанг, А.Я. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22, № 1. – С. 69-75.

### References

1. Federal Law of July 22, 2008, No. 123-FZ (as amended on December 25, 2003) "Technical Regulations on Fire Safety Requirements".
2. GOST R 58187-2018 "Tourist Services. Campsites. General Requirements". Moscow: Standartinform, 2018.
3. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia of June 30, 2009, No. 382 "On Approval of the Methodology for Determining the Calculated Values of Fire Risk in Buildings, Structures, and Fire Compartments of Various Functional Fire Hazard Classes" (with amendments and additions). Moscow: Ministry of Emergency Situations of Russia, 2009.
4. SP 1.13130.2020 "Fire Protection Systems. Evacuation Routes and Exits". – M.: Standartinform, 2020.
5. SP 4.13130.2013 "Fire Protection Systems. Limiting Fire Spread at Protected Facilities. Requirements for Space-Planning and Structural Solutions". – M.: Standartinform, 2013.

6. Manual for the Application of "Methodology for Determining Calculated Fire Risk Values in Buildings, Structures, and Constructions of Various Functional Fire Hazard Classes". – M.: VNIIPO, 2014. – 226 p.

7. Yurkin G. Yu. Use of Flame Retardants for Awning and Tent Fabrics / G. Yu. Yurkin, R. G. Shubkin // Current Issues of Ensuring Fire Safety and Protection from Emergencies: Collection of Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Zheleznogorsk, April 23, 2021. – Zheleznogorsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian Fire and Rescue Academy" of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Natural Disasters", 2021. – Pp. 40-43. – EDN VOJDYF.

8. Matveyev V. A. Increasing fire resistance and strengthening structures during restoration and repair of facilities in the Republic of Crimea and the city of Sevastopol / V. A. Matveyev, L. A. Nichkova // Methodology of living environment safety: collection of scientific papers of the XVII International scientific and practical conference, Simferopol, October 14-17, 2024. – Simferopol: IT "Arial", 2024. – Pp. 257-260. – EDN IUYIHJ.

9. Matveyev V. A. Methods for calculating and reducing fire risk using the example of a regional cultural heritage site meanings "Residential building of the 1900s" / V. A. Matveev, L. A. Nichkova // Economics of construction and nature management. - 2023. - No. 4 (89). - Pp. 74-80. - EDN LOJZJH.

10. Hoang T.D. Selection of a fire alarm and evacuation management system / T.D. Hoang, A.Ya. Korolchenko // Fire and explosion safety. - 2013. - Vol. 22, No. 1. - Pp. 69-75.

Статья поступила в редакцию 22.09.2025

## Информация об авторах

**Матвеев Владимир Альбертович**,  
аспирант кафедры «Техносферная  
безопасность» Севастопольского  
государственного университета, г. Севастополь.  
**E-mail:** matveev.vladimir0@mail.ru

**Ничкова Лариса Александровна**, к.т.н.,  
заведующий кафедрой «Техносферная  
безопасность» Севастопольского  
государственного университета, г. Севастополь.  
*SPIN-код: 9838-5346, AuthorID: 1020040*  
**E-mail:** nichkova@sevsu.ru

## Information about the authors

**Matveev Vladimir Albertovich**, postgraduate student, Department of Technospheric Safety, Sevastopol State University, Sevastopol.  
**E-mail:** matveev.vladimir0@mail.ru

**Nichkova Larisa Alexandrovna**, Ph.D., Head of the Department of Technogenic Safety, Sevastopol State University.  
*SPIN-код: 9838-5346, AuthorID: 1020040*  
**E-mail:** nichkova@sevsu.ru

---

### Для цитирования:

Матвеев В.А., Ничкова Л.А. Рассмотрение вопроса пожарной безопасности посетителей глемпингов Республики Крым и г. Севастополя // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 2(3). – С. 44-51.

### For citation:

Matveev V.A., Nichkova L.A. Consideration of the issue of fire safety for visitors to glamping's in the Republic of Crimea and the city of Sevastopol // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 2 (3). – P. 44-51.

---

УДК 69.05

## УПРАВЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫМ СРОКОМ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Родыгина М. М., Красногрудов А. В., Рожков И. Н., Щербак В. Н.

### MANAGEMENT OF THE RESIDUAL PERIOD OF SAFE OPERATION OF RESIDENTIAL BUILDINGS

Rodygina M. M., Krasnogrudov A. V., Rozhkov I. N., Shcherbak V. N.

**Аннотация.** В связи с достаточно большим сроком эксплуатации жилого фонда Луганской Народной Республики его безопасная эксплуатация и определение остаточного эксплуатационного ресурса жилых домов является одной из первоочередных задач развития региона.

**Ключевые слова:** технологический мониторинг, параметры остаточного эксплуатационного ресурса, коэффициент запаса прочности, приборное обеспечение.

**Abstract.** Due to the long service life of the housing stock in the Lugansk People's Republic, its safe operation and determination of the residual service life of residential buildings are among the top priorities for the development of the region.

**Key words:** technological monitoring, residual service life parameters, safety factor, and instrumentation.

**Введение.** За последние 30 лет в нашем регионе практически не велось новое строительство жилых многоквартирных домов. Жилой фонд ЛНР не ремонтировался со времен СССР. Можно уверенно сказать, что он весь находится в условно работоспособном состоянии. Кроме этого, значительное количество жилых зданий подверглись различного рода разрушениям в результате боевых действий.

**Цель и задачи исследования.** В настоящее время в Луганской Народной Республике не существует единого алгоритма организации работ по обслуживанию жилого фонда, который включал бы в себя, в том числе работы по систематическому наблюдению за

техническим состоянием строительных конструкций и зданий в целом. В Республике уже достаточно активно ведется работа по приведению жилых домов в эксплуатационное пригодное состояние (ремонт кровель, фасадов, замена коммуникаций, лифтов, благоустройство прилегающих территорий), поэтому необходима разработка единого алгоритма определения остаточного эксплуатационного ресурса жилых домов.

**Материалы и методы.** При эксплуатации любого здания необходимо систематически фиксировать повреждения, которые появляются и накапливаются в процессе жизненного цикла здания. Процесс наблюдения за состоянием строительных конструкций зданий,

который носит периодический характер, принято называть мониторингом. Мониторинг технического состояния жилых зданий – это система наблюдений и контроля, которые проводятся регулярно по определенному алгоритму, закреплённому в нормативных документах, для оценки состояния несущих конструкций и конструктивов, анализа происходящих процессов и своевременного выявления изменения состояния конструкций [1].

Если в процессе осмотра зданий выявлены повреждения, которые соответствуют неудовлетворительному состоянию отдельных конструкций, и установлено, что их техническое состояние соответствует либо ограниченно работоспособному, либо аварийному состоянию, необходимо установить долгосрочное (в течение двух лет) наблюдение с обязательной фиксацией изменений при каждом осмотре здания [2].

Обследования технического состояния зданий и сооружений в процессе текущего мониторинга, как правило, не проводят в полном объеме ограничиваются только визуальным осмотром конструкций с целью общей, оценки их технического состояния.

Для нашего региона очень важным является также вопрос эксплуатации жилого фонда на подрабатываемых и оползневых территориях. В этих случаях жилые здания, которые попадают в зону влияния природно-техногенных воздействий, целью мониторинга технического состояния становится постоянный контроль процессов накопления повреждений или разрушения, которые протекают в конструкциях объектов и в грунте, для своевременного обнаружения и прогноза развития негативных ситуаций, их предупреждения,

а также для принятия мер по их устраниению.

В течение последних лет на первых этажах жилых зданий в коммерческих целях производились перепланировки с изменением расчетных схем несущих конструкций, реконструкции с увеличением нагрузок, пристраивались строительные объемы в один или несколько этажей. Зачастую это делалось без предварительного обследования и утвержденного проекта переустройства. Таким объектам должно быть уделено особое внимание. В таких случаях, разработке проекта по перепланировке должны предшествовать специальные обследования с выполнением проверочных расчетов пространственной жесткости оснований, фундаментов и несущих конструкций.

Своевременная диагностика технического состояния жилых зданий подразумевает проведение целого комплекса работ, направленных на фиксацию технического состояния конструкций, определение узлов, зон и соединений, которые требуют ремонта или замены конструкций, оценку пригодности их к дальнейшей эксплуатации, определение условий и сроков безопасной эксплуатации, т.е. фактически определение остаточного эксплуатационного ресурса здания в целом.

Остаточный эксплуатационный ресурс – это продолжительность безопасной эксплуатации жилого здания от момента его технической диагностики, реконструкции или капитального ремонта и т.д. до перехода в условно безопасное или аварийное состояние отдельных конструкций или нарушения устойчивости здания в целом [3].

Определение остаточного эксплуатационного ресурса должно быть

выполнено в процессе обследования здания для принятия технически обоснованных решений по обеспечению его дальнейшей безопасной эксплуатации.

**Результаты исследований.** Обследование здания выполняется перед его реконструкцией, капитальным ремонтом или, если в результате периодических осмотров выявлены повреждения, несовместимые с его дальнейшей безопасной эксплуатацией. Определяется степень повреждений конструкций здания, прежде всего, несущих и ограждающих конструкций, т.е. обследование технического состояния зданий – это комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений эксплуатационных параметров, характеризующих работоспособность и ремонтопригодность объектов обследования, определяющих возможность их дальнейшей безопасной эксплуатации [4].

Алгоритм проведения обследования жилых зданий подразумевает выполнение следующих мероприятий:

- два раза в год (весной и осенью) проводятся периодические осмотры технического состояния зданий;

- определяются объекты с наибольшим количеством повреждений, которые фиксируются в соответствующих алгоритму документах;

- если выявлены здания, находящиеся в условно работоспособном или аварийном состоянии, за ними устанавливается постоянное наблюдение;

- разрабатываются мероприятия по устранению выявленных повреждений;

- в обязательном порядке назначается обследование технического состояния зданий для оценки возможности их дальнейшей безопасной эксплуатации или

необходимости усиления конструкций в случае необходимости.

В каждом жилом здании необходимо обследовать: элементы благоустройства; надземные несущие и ограждающие конструкции (техническое состояние, теплопотери ограждающих конструкций); кровли; балконы; козырьки подъездов; в случае необходимости – основания и фундаменты, инженерно-геологические условия площадки, подземные конструкции, инженерные сети.

По российскому законодательству, работы по обследованию зданий должны выполняться с соблюдением правил охраны труда и техники безопасности, которые изложены в соответствующих нормативных документах [1, 5].

Проблема своевременных осмотров и обследований жилых зданий требует скорейшего решения, так как безопасная эксплуатация жилых домов и определение их остаточного эксплуатационного ресурса является весьма сложной в решении инженерной задачей, имеющей, безусловно, государственное значение.

Ниже предлагается алгоритм определения параметров остаточного эксплуатационного ресурса жилых зданий.

В начале выполняется анализ нормативных документов с целью установления отличий между действовавшими и действующими нормативными документами, которые способны повлиять на эксплуатационную надежность и долговечность конструктивных элементов здания. После чего выполняется обследование технического состояния здания для определения состояния грунтов оснований и фундаментов, фактических прочностных характеристик материалов и узлов конструкций здания.

На следующем этапе осуществляются проверочные расчеты строительных конструкций и здания в целом с учетом конструктивных решений и прочностных характеристик материалов проекта и нагрузок, регламентируемых действовавшими нормативными документами. Целью выполнения расчета является получение коэффициентов использования несущей способности отдельных конструктивных элементов и узлов, а также здания в целом с учетом норм и первоначальных проектных решений. Результатом расчетов в том числе является построение пространственной расчетной модели здания на базе современных вычислительных программных комплексов ЛИРА, Мономах, SCAD Office и др., адаптированных для решения данной задачи.

В результате расчета получаем коэффициент использования несущей способности, который показывает, на сколько в долях единицы должна использоваться несущая способность рассчитываемого конструктивного элемента и здания в целом при первоначальных проектных характеристиках материалов конструкций. Превышение коэффициентом запаса единицы свидетельствует о достижении конструкцией предельного состояния и невозможности ее дальнейшей эксплуатации без проведения мероприятий по ее усилению и восстановлению.

Далее, используя результаты обследования, выполняется расчет пространственной модели здания, в результате которого определяется коэффициент запаса несущей способности отдельных конструктивных элементов и узлов, а также здания в целом с учетом действующих в настоящий период нормативных документов и выявленного

технического состояния строительных конструкций здания. То есть оценивается ресурс не только первоначальных проектных коэффициентов использования несущей способности конструкций и здания в целом, но и коэффициентов, полученных с использованием данных комплексного обследования строительных конструкций здания по истечении значительного срока эксплуатации.

То есть в данном расчете можно выделить два основных этапа:

- I этап – определение коэффициентов запаса прочности с учетом дефектов и повреждений, которые не способны к дальнейшему развитию;

- II этап – с учетом всех выявленных дефектов и повреждений строительных конструкций напряженно-деформационного состояния здания в целом, определение существующего запаса прочности.

Таким образом, мы получаем полную оценку параметров остаточного эксплуатационного ресурса здания.

Далее встает вопрос о гарантиях безопасной эксплуатации здания на ближайшие годы.

В этом вопросе определенную гарантию может дать комплексный контроль технического состояния объектов, который может осуществляться с помощью многопараметрических информационно-регистрирующих систем, отслеживающих напряженно-деформационные процессы, происходящие в строительных конструкциях в условия их эксплуатации [6, 7].

То есть можно обсуждать организацию системы наблюдения, когда можно будет в любой момент времени знать техническое состояние конструкций и на основе этих данных определять остаточный эксплуатационный ресурс здания в целом.

В технической литературе это направление получило определение «технологический мониторинг».

Конечно, такие системы являются дорогостоящими в обслуживании и эксплуатации применительно к широкому кругу объектов, например, к жилым домам первых массовых серий, поэтому создание таких систем может носить поэтапный характер.

На первом этапе можно использовать существующее приборное обеспечение, затем определять в динамике характеристики грунтового основания, амплитуды изменения напряженного состояния несущих конструкций и т.д.

На следующем этапе – разработать систему организационных технических и экономических мер по безопасной эксплуатации жилых домов первых массовых серий.

Приборная база для этих целей успешно разрабатывается, применяется и совершенствуется.

Приборным обеспечением мониторинга технического состояния строительных конструкций занимаются Инженерный центр диагностики состояния сооружений (ИЦДСС) при МГТУ имени Баумана, ООО «НЦП «БАУ-Мониторинг», ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга» и др.

В последнее время получили известность ряд приборов многопараметрического действия, эффективных для выявления, оценки и локализации дефектов и повреждений конструкций, определения неоднородности по прочности, глубины трещин. Это ультразвуковой тестер Пульсар-2М; измеритель прочности бетона ОНИКС-10С; локаторы арматуры Proceq Profometer; ультразвуковой дефектоскоп УДЗ-71сПЭП; адгезиметр Proceq Dyna Z 16; анализатор

коррозии Proceq Canin+; влагомер Testo 616 и другие приборы, приспособленные для работы в автоматизированном режиме управления [8, 9].

**Выводы.** Изложенное свидетельствует о том, что вопросы организации, технического, нормативного и юридического обеспечения процесса мониторинга технического состояния жилых зданий, результатом которых станет определение остаточного эксплуатационного ресурса жилого фонда ЛНР, имеют огромное значение. И результаты такого мониторинга должны отличаться высокой достоверностью.

В этом может помочь богатый российский опыт, в том числе, использование приборной и аппаратурно-программной базы для создания систем технологического мониторинга жилых домов, в том числе, первых массовых серий [10, 11].

#### Список источников

1. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2014. – 54 с.
2. Родыгина М.М, Красногрудов А.В., Пронин М.А., Рожков И.Н. Обеспечение техногенной безопасности производственных предприятий в рамках комплексного подхода к их эксплуатации и реновации // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 5(83).
3. Хайрулин В.А., Салов А.С., Терехов И.Г., Масалимов Р.Б. Технико-экономическая оценка долговечности и остаточного ресурса эксплуатации объекта строительства // Дискуссия. – 2022. – Вып. 115. – С. 52-70. DOI: 10.46320/2077-7639-2022-6-115-52-70.
4. Ремнев В.В. Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений: Учебное пособие / В.В. Ремнев, А.С., А.С. Морозов, Г.П. Тонких. – М.: Маршрут, 2005. – 196 с.

5. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, 2004. – 26 с.
6. Сопегин Г.В., Сурсанов Д.Н. Использование автоматизированных систем мониторинга конструкций (АСМК) // Вестник МГСУ. Том 12. Выпуск 2 (101). С. 230 – 242. DOI: 1022227//1997-0935.2017.2.230-242.
7. Лемешкин А.В. Контроль качества материалов в строительстве: современные технологии и принципы работы // Инновации и инвестиции. 2023. – № 7. – С. 348-53.
8. Карпов Д.Ф., Павлов М.В., Гудков А.Г. Выявление скрытых дефектов тепловой защиты зданий и определение некоторых термических свойств конструкционных строительных материалов неразрушающими методами тепловидения // Вестник Дагестанского ГТУ. Технические науки. – 2023. – Т. 50. – № 1. – С. 174-184. DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-174-184.
9. Грушковский П.А., Щельников В.Н., Ситников А.В. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений визуальными и инструментальными методами// Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – Вып. 6. – С. 208-212. DOI: 10. 24412/2017-6168-2021-6-208-212.
10. Бредихин В.В., Бредихина Н.В. Некоторые подходы к реконструкции городского пространства в условиях сложившей застройки // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 2. – С.47 – 50.
11. Скачков П.А., Горнева О.С., Шутов С.В., Гнатюк К.В. Метод определения потенциала развития застроенных жилых территорий // Жилищное строительство. – 2015. – № 4. – С. 3-7.
2. Rodygina M.M., Krasnogrudov A.V., Pronin M.A., Rozhkov I.N. Ensuring the technogenic safety of industrial enterprises within the framework of an integrated approach to their operation and renovation // Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 5(83).
3. Khairulin V.A., Salov A.S., Terekhov I.G., Masalimov R.B. Technical and economic assessment of durability and residual service life of the construction site // Discussion. – 2022. – Issue 115. – Pp. 52-70. DOI: 10.46320/2077-7639-2022-6-115-52-70.
4. Remnev V.V. Inspection of the technical condition of building structures of buildings and structures: A textbook / V.V. Remnev, A.S., A.S. Morozov, G.P. Tonkikh. – М.: Routledge, 2005. – 196 p.
5. Joint venture 13-102-2003. Rules for the inspection of load-bearing structures of buildings and structures. – М.: Gosstroy of Russia, 2004. – 26 p.
6. Sopegin G.V., Sursanov D.N. The use of automated systems for monitoring structures (ASMC) // Bulletin of MGSU. Volume 12. Issue 2 (101). – pp. 230-242. DOI:1022227//1997-0935.2017.2.230-242.
7. Lemeshkin A.V. Quality control of materials in construction: modern technologies and principles of operation // Innovations and investments. 2023. N 7. pp. 348-353.
8. Karpov D.F., Pavlov M.V., Gudkov A.G. Detection of hidden defects in the thermal protection of buildings and determination of some thermal properties of structural building materials by non-destructive thermal imaging methods// Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical sciences. – 2023. – Vol. 50. № 1. – Pp. 174-184. DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-174-184.
9. Grushkovsky P.A., Shchelnikov V.N., Sitnikov A.V. Assessment of the technical condition of building structures of buildings and structures by visual and instrumental methods // Izvestiya TulSU. Technical sciences. – 2021. Issue. 6. – Pp. 208-212. DOI: 10. 24412/2017-6168-2021-6-208-212.

### References

1. GOST 31937-2011. Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring of technical condition. – М.: Standartinform, 2014. - 54 p.

10. Bredikhin V.V., Bredikhina N.V. Some approaches to the reconstruction of urban space in the conditions of existing buildings // Industrial and civil engineering. – 2014. – No. 2. – Pp.47-50.

11. Skachkov P.A., Gorneva O.S., Shutov S.V., Gnatyuk K.V. Method of determining the

development potential of built-up residential areas // Housing construction. – 2015. – No. 4. – Pp. 3-7.

*Статья поступила в редакцию 12.08.2025*

### Информация об авторах

**Родыгина Мария Михайловна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** sunsara\_06@mail.ru

**Красногрудов Александр Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** krasnogrudov@mail.ru

**Рожков Игорь Николаевич**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**Щербак Виктор Николаевич**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** Fire\_lug@mail.ru

### Information about the authors

**Rodygina Mariya Mikhailovna**, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**E-mail:** sunsara\_06@mail.ru

**Krasnogrudov Alexander Vasilievich**, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**E-mail:** krasnogrudov@mail.ru

**Rojkov Igor Nikolaevich**, senior lecturer of the Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**Shcherbak Viktor Nikolaevich**, senior lecturer of the Department of Fire Safety of the Institute of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**E-mail:** Fire\_lug@mail.ru

### Для цитирования:

Родыгина М.М., Красногрудов А.В., Рожков И.Н., Щербак В.Н. Управление остаточным сроком безопасной эксплуатации жилых домов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 2(3). – С. 52-58.

### For citation:

Rodygina M., Krasnogrudov A., Rozhkov I., Shcherbak V. Management of the residual period of safe operation of residential buildings // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 2 (3). – P. 52-58.

**ВЕСТНИК ЛУГАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»  
№ 2 (3) 2025**

**Серия Технические науки**

Лит.редактор

*Минина Я.В.*

*Рудник Ю.В.*

*Паталахина Е.А.*

Технический редактор

*Коломиец-Кириллова Е.А.*

---

Подписано в печати 27.10.2025.

Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Условных печатных стр.10,39. Тираж 100 экз. Изд. № 01539.

---

**ИЗДАТЕЛЬСТВО  
Луганского государственного университета  
имени Владимира Даля**

**Адрес издательства:** 291034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20,а.  
**Тел.:** 7(959) 138-34-80

**E-mail:** izdat.lguv.dal@gmail.com **<https://izdat.daluniver.ru/>**