

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Научно-технический журнал

№1 2026



УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ, МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ

Научно-технический журнал

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

ISSN 2618-9054

Журнал издается с 2010 года

Учредитель и издатель: Воронежский государственный технический университет (ВГТУ)

Территория распространения – Российская Федерация

Тип издания – **Online** – www.ttmko.ru

Журнал публикует материалы по следующим разделам:

- **УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ**
- **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ**
- **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**
- **АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО**
- **ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ**
- **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА**
- **МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ**
- **СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**
- **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ**
- **ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ, МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ**

Материалы журнала публикуются в авторской редакции и регистрируются
в Российском индексе научного цитирования

Ответственность за достоверность опубликованных в статьях сведений несут авторы

Перепечатка материалов журнала допускается только с разрешения редакции

Научно-технический журнал «Высокие технологии в строительном комплексе» выходит 2 раза в год (май, декабрь)

Научно-технический журнал. Высокие технологии в строительном комплексе, все права защищены

Scientific-and-Technical Journal

HIGH TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION COMPLEX

ISSN 2618-9054

The Journal has been published since 2010

Founder and publisher: Voronezh State Technical University (VSTU)

Territory of distribution - the Russian Federation

Type of publication – **Online** – **www.ttmko.ru**

The journal publishes materials on the followingsubjects:

- **PRODUCTION MANAGEMENT**
- **ENERGY SAVING TECHNOLOGIES**
- **BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS**
- **ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND URBAN PLANNING**
- **WATER SUPPLY, WATER DRAINING, HEAT SUPPLY AND VENTILATION**
- **ECOLOGICAL PROBLEMS OF THE CONSTRUCTION AND ROAD COMPLEX**
- **MECHANIZATION OF CONSTRUCTION, BUILDING MACHINES AND MECHANISMS**
- **BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES, BASISES AND FOUNDATIONS**
- **LIFE SAFETY IN ENVIRONMENTALLY ADVERSE CONDITIONS**
- **PHISICALAND CHEMICAL PROCESSESIN ENVIROMENTS, MATERIALS AND PRODUCTS**

The Journal materials are published in the author's edition and registered
in the Russian scientific citation index

Responsibility for the reliability of the information published in the papers is on the authors

Reprinting of Journal materials is allowed only with the permission of the editorial staff

Scientific-and-Technical Journal «High Technologies in Construction Complex» is published twice a year (May, December)

Scientific-and-Technical Journal. High Technologies in Construction complex. All rights reserved

Научно-технический журнал

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. В.А. Жулай

Зам. главного редактора – канд. техн. наук., доц. В.Л. Тюнин

Ответственный секретарь – канд. техн. наук., доц. А.Н. Щиенко

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Д-р техн. наук, проф. В.П. Подольский (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. Т.В. Самодурова (г. Воронеж, ВГТУ); канд. техн. наук., доц. Н.М. Волков (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. О.И. Поливаев (г. Воронеж, ВГАУ); канд. техн. наук., проф. Ю.М. Пурусов (г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»); д-р техн. наук, проф. В.А. Зорин (г. Москва, МАДИ); д-р техн. наук, проф. А.А. Романович (г. Белгород, БГТУ); д-р техн. наук, проф. Б.А. Бондарев (г. Липецк, ЛГТУ)

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84.

Тел.: +7(473) 207-22-20 доб. 5128, E-mail: stim.kaf@cchgeu.ru

© Воронежский
государственный
технический
университет, 2026



**В данном выпуске опубликованы материалы
29-й ВСЕРОССИЙСКОЙ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ. ЭКОЛОГИЯ»,
посвященной
Юбилею Воронежского государственного
технического университета**

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

Гудков К.В., Шафорост А.Н., Анцев В.Ю., Подшибякин И.О. Реинжиниринг технологического комплекса кирпичного производства	8
Дегтев Д.Н., Мокраусов И.С., Дегтева Ю.А. Мобильное техническое обслуживание в полевых условиях. Организация ремонтного «летучего отряда» и снижение потерь времени на перегон техники.....	12
Дегтев Д.Н., Мокраусов И.С., Дегтева Ю.А., Пожарицкий А.А. Организация эффективного управления парком строительной техники с учётом технического состояния и производственных задач	17
Должиков Д.С., Маликов А.А., Анцев В.Ю. Совершенствование системы управления проектами создания высокотехнологичных средств транспортно-технологического комплекса.....	22

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Вуколова А.Е., Семенова Э.Е. Определение класса энергосбережения здания, как основание для разработки проектных решений по его реконструкции.....	26
Семенова Э.Е., Чехонадских А.А. Оценка влияния низкоэмиссионных покрытий и инертных газов на теплозащитные свойства стеклопакетов	31

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Ботовалкин Н.С., Чернышов А.Е., Волокитин В.П., Волокитина О.А., Андреев А.В. Применение РОЧ на мостах в сейсмоактивных районах	37
Волокитина О.А., Бахметьев Д.Р., Гелунов В.А. Жидкий гранит: современный композитный материал для строительства и дизайна	44
Волокитина О.А., Бахметьев Д.Р., Гелунов В.А. Полупрозрачный бетон: инновационный материал в строительстве и дизайне.....	47

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

Китаев Д.Н. Уравнение для первого приближения при расчете температуры точки росы природного газа по воде упрощенным методом	50
Лобанов Д.В., Мартыненко О.М., Матюнина О.В., Пигарев П.С., Кириченко И.А. Санитарно-технические и эпидемиологические аспекты очистки и дезинфекции систем вентиляции в зданиях различного назначения	56
Мерщев А.А., Лобанов Д.В., Глушкова А.А., Шаталов Н.В. Техническое обследование работы системы вытяжной вентиляции в жилом многоквартирном доме ...	62
Пурусова И.Ю. Факторы влияющие на эффективность работы погружных скважинных насосов	68
Щеглова П.С., Баранников С.В. Определение тепловых нагрузок зданий по укрупненным показателям	74

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

Ахромешин А.В., Пышный В.А. Перспективы развития ИТС в Тульской агломерации.....	78
Матвиенко Ф.В., Строкин А.С., Кукина О.Б., Шамарин Н.И., Волков В.В., Золотухин С.Н. Концепция получения и применения материалов от разрушенных зданий и сооружения для укрепленных цементом дорожных оснований	82
Талько О.В., Тлустая С.Е. Современное экологическое проектирование спортивных объектов в условиях г. Владивостока	87

МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

Вдовин И.О., Фомин Н.С., Жилин Р.А. Разработка стенда для проведения сборочно-разборочных работ при ремонте транспортных средств	97
Волков Н.М., Гетман А.И. Метод 3D-сканирования в проектировании деталей и узлов при ремонте на малом и среднем предприятии	103
Горбачев А.Е., Жилин Р.А. Эволюция систем полного привода автотранспортных средств.....	107
Данилов Р.Г., Андрюхов Н.М., Заколоткин В.И., Литвак П.И., Заколоткин Е.И. Современные двигатели землеройно-транспортных машин.....	111
Жидких Н.С., Андрейкин А.А., Логунова Е.А. Применение принципов устройства оборудования для симрейсинга в конструкции органов управления гоночным автомобилем класса «формула студент»	118
Жулай В.А., Скукин А.А. Способы повышения эффективности рабочего оборудования гидравлического экскаватора.....	123
Жулай В.А., Тюнин В.Л., Дегтев Д.Н., Чурсин Ю.С., Хохлов В.В. Анализ исследований по применению боковых открьлков в бульдозерном оборудовании	128
Иванов В.А., Гнездилов С.Г. Обзор методов топологической оптимизации элементов ножничных подъемников	134

Кондратьев А.В., Кочкян С.М., Вельдяков Д.И., Горшков Д.А., Соков Е.А. Дисковое сито для сепарирующего ковша погрузчика.....	140
Минин В.В., Синяк А.А., Челединов А.В. Совершенствование конструкции двухрычажной подвески	144
Савельев С.В., Лесковец И.В., Чугунов А.А. Перспективная конструкция рабочего органа дорожного катка для устройства автомобильных дорог	150
Токарев К.А., Кильтау К.В. Устройства для повышения устойчивости движения автогрейдера.....	155
Хмелев Р.Н., Архипов Д.А., Андронов А.Е., Борисов П.П., Некрасов И.Д. Результаты виртуальных испытаний автомобиля УАЗ «Хантер» с тюнингом элементов ходовой части	159
Чередниченко Д.С., Мацокин Д.С., Литвинов Д.Ю. Применение 3D-сканирования двигателя для уточнения компоновки гоночного автомобиля класса «Формула Студент»	163

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Абрамов Н.С., Андреев А.В., Волокитина О.А., Волокитин В.П. Применение консольно-шлюзового крана при строительстве высокоскоростной железнодорожной магистрали	168
Волокитина О.А., Андреев А.В., Крюков Д.Г. Обеспечение устойчивости насыпи земляного полотна в горных стесненных условиях на примере расчета подпорной стенки высотой более 5 метров при реконструкции моста через реку Макопсе в Краснодарском крае.....	174
Волокитина О.А., Кузнецова К.Е., Фенева С.Л., Чекризова В.С. Применение технологий 3D-печати в дорожном обустройстве и инфраструктуре	182

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ

Волокитина О.А., Бахметьев Д.Р., Гелунов В.А. Оптимизация разметки и дорожных знаков с учётом психофизиологии водителей: снижение аварийности на опасных участках	186
Долгова В.О. Методика оценки антропогенной нарушенности прибрежных территорий городских водных объектов и модель их формирования для целей устойчивого развития и градоэкологической безопасности.....	189
Логунова Е.А., Каргашилов Д.В. Оценка факторов опасности при пожарах электрических транспортных средств в условиях закрытых автостоянок и паркингов.....	201
Никитин С.А., Горбачев А.Е., Смирнов Н.С. Определение вклада источников шума в общее звуковое поле кабины технологической машины.....	205
Отрохов А.В. Обеспечение безопасности дорожного движения в условиях эксплуатации беспилотных транспортных средств на дорогах общего пользования.....	212
Тарасов Е.А., Тарасова Е.В., Кожакин Е.В., Ульянов А.В., Щиенко А.Н., Мухтаров И.В. Беспилотные автомобили на дорогах общего пользования: технологические, правовые и инфраструктурные аспекты внедрения в Российской Федерации	215

Тарасов Е.А., Тарасова Е.В., Кожакин Е.В., Ульянов А.В., Щиенко А.Н., Тарабрин И.И. Беспилотные транспортные средства в городской и магистральной мобильности: архитектура, методы восприятия, безопасность и эксплуатационная готовность.....	222
Тарасов Е.А., Тарасова Е.В., Кожакин Е.В., Ульянов А.В., Щиенко А.Н., Черников В.С. Интеллектуальные транспортные средства в составе ИТС: архитектура, методы оценки эффективности и результаты моделирования для городских условий	228
Тарасов Е.А., Тарасова Е.В., Кожакин Е.В., Ульянов А.В., Щиенко А.Н. Автономные транспортные средства в городской и магистральной мобильности: архитектура, безопасность, инфраструктура и оценка эффективности.....	233
Тарасов Е.А., Тарасова Е.В., Кожакин Е.В., Ульянов А.В., Щиенко А.Н. Роботизированные транспортные средства: архитектура, сенсорика, алгоритмы управления и вопросы внедрения в дорожную инфраструктуру	239
Чернышов А.Е., Ботовалкин Н.С., Волокитин В.П., Волокитина О.А., Андреев А.В. Безопасность пересечения высокоскоростных железнодорожных магистралей	247
Чернышов А.Е., Ботовалкин Н.С., Волокитин В.П., Волокитина О.А., Андреев А.В. Организация безопасных дорожных работ.....	252
Чернышов А.Е., Ботовалкин Н.С., Волокитин В.П., Волокитина О.А., Андреев А.В. Освещение дорог и безопасность движения в тёмное время суток	260

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ, МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ

Корнилов Е.В., Андреев А.В., Волокитина О.А., Оськин Д.М. Применение отходов стеклобойной промышленности в совокупности с неорганическим вяжущим для устройства конструктивных слоёв дорожной одежды на региональных дорогах и дорогах с низкой интенсивностью движения	266
Чернухин В.А., Строкин А.С., Матвиенко Ф.В., Пятин М.Г. Метод определения температуры колеи в асфальтобетонном покрытии на автодорожных мостах	270

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК 621.8

*Тульский государственный университет
Магистр кафедры «Транспортно-технологические машины и процессы»*

К.В. Гудков

*Д-р техн. наук, заведующий кафедрой
«Транспортно-технологические машины и процессы» В.Ю. Анцев*

Канд. тех. наук, доцент кафедрой «Транспортно-технологические машины и процессы» А.Н. Шафорост

Студент кафедры «Транспортно-технологические машины и процессы»

И.О. Подшибякин

Россия, г. Тула, тел. +7(4872) 25-46-88

e-mail: akar06@rambler.ru

Tula State University

Master of the department of Transport and technological machines and processes,

K.V. Gudkov

Doctor tehn. sciences, head of the department of Transport and technological machines and processes, V.Yu. Antsev

Cand. of Tech. Science, associate professor of the department of Transport and technological machines and processes, A.N. Shaforost

Student of the department of Transport and technological machines and processes,

I.O. Podshibiyakin

Russia, Tula, tel. +7(4872) 25-46-88

e-mail: akar06@rambler.ru

К.В. Гудков, А.Н. Шафорост, В.Ю. Анцев, И.О. Подшибякин

РЕИНЖИНИРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КИРПИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Стратегическое управление современным предприятием должно сосредоточить все усилия на осуществлении долгосрочной стратегии инновационного развития, а управление предприятием – не на частичных улучшениях бизнес-процессов, а на непрерывном радикальном пересмотре и улучшении технологии, т. е. на новом инструменте менеджмента – технологическом реинжиниринге.

Ключевые слова: реинжиниринг, кирпичное производство, технологическое оборудование, подъемно-транспортное оборудование, имитационное моделирование.

K.V. Gudkov, A.N. Shaforost, V.Yu. Antsev, I.O. Podshibiyakin

REENGINEERING OF THE BRICK PRODUCTION TECHNOLOGY COMPLEX

Strategic management of a modern enterprise should focus on implementing a long-term innovation development strategy, rather than on making partial improvements to business processes. Instead, it should focus on continuous and radical revision and improvement of technology, which is a new management tool known as technological reengineering.

Keywords: reengineering, brick production, technological equipment, lifting and transport equipment, simulation modeling.

Модернизация производства происходит по стандартному пути, а именно внедрению большего уровня механизации и автоматизации на производственной линии. Которая достигается внедрением соответствующего оборудования в виде комплекса, такого как:

- роботизированные манипуляторы;
- конвейерные линии;
- шнековые питатели;
- весовые установки;
- бункерные питатели.

Данное оборудование позволяет увеличить повторяемость исходного продукта и оптимизировать технологические процессы за счет снижения погрешностей и временных затрат на этапе подготовки и первичной обработке материалов, из которых производится кирпич.

Цель работы – реинжиниринг технологического комплекса кирпичного производства путем внедрения специализированного и подъемно-транспортного оборудования.

Для модернизации кирпичного производства были поставлены следующие задачи увеличение объема производимой продукции в связи с увеличением спроса на данную продукцию, уменьшение количества ручного труда путем встраивания дополнительных механизмов и автоматики в этап подготовки необходимого материала для прессования.

Цех производства состоит из нескольких зон (рис.). Зона прессования, зона пропаривания, складская зона, зона просевки. В зоне прессования находится непосредственно сам пресс, гидравлическая насосная станция, смеситель для смешивания материалов в сырец. Зона пропаривания состоит из нескольких пропарочных шкафов. На предприятии имеется две складские зоны. Первая для хранения сыпучего инертного материала, вторая для хранения материалов в мешках [1].

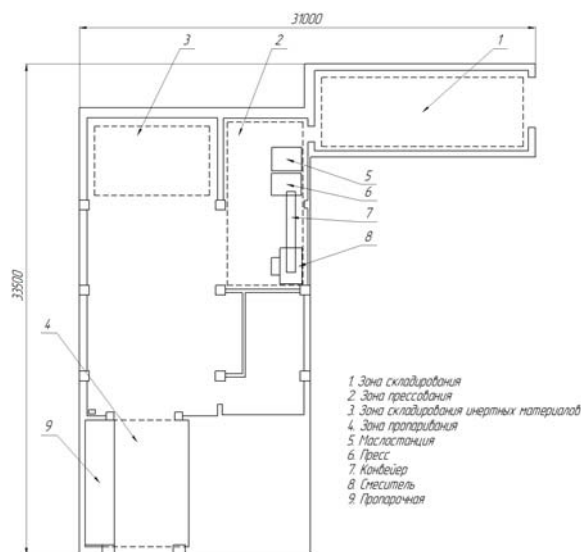


Рис. Производственный цех

Первым этапом производства является засыпание инертного материала в мерную тару, которая загружается в неё посредством ручного труда сотрудника. После того как необходимое количество материала было засыпано в мерную тару она перемещается к скипу при помощи вилочного погрузчика. Погрузчик подъезжая к месту выгрузки материала поднимает тару на достаточную высоту для доступа к щеколде открывания окна выгрузки тары и останавливается над скипом, после чего человек работающий за пультом управления скипом открывает щеколду и инертный материал под собственным весом открывает окно выгрузки и высыпается прямым в приемное устройство смесителя. После окно разгрузки закрывается сотрудником, а погрузчик уезжает для повторного заполнения тары [1].

После выгрузки инертного материала работник наполняет скип остальными составляющими для изготовления сырца, а именно определенной дозой цемента, красящих пигментов (если таковые требуются) и специальными стабилизирующими добавками.

Загрузив материалы в скип, они перемещаются в смеситель путем подъема и опрокидывания скипа в приемный бункер смесителя. Далее эта смесь promешивается в течении некоторого времени чтобы равномерно распределить цемент, добавки и цветовой пигмент. После promешивания получается сырец равномерного цвета. Затем, путем открытия заслонки смесителя, сырец перемещается по конвейеру из смесителя в бункер прессы.

Впоследствии, сырец из бункера попадает в ящик-дозатор. Ящик выдвигается в зону прессования, где нижний пуансон опустил на определенную глубину и образовал пресс форму для будущих кирпичей, совершая поступательные движения вперед и назад ящик загружает сырец в пресс-форму и уплотняет её. После ящик перемещается для загрузки новой порции сырца в бункер и заодно с этим убирает излишки с пресс-формы. Далее пресс-форму с сырцом накрывает верхний пуансон, затем верхние и нижние пуансоны поджимают материал и после происходит итоговое прессование кирпича, где на пару кирпичей приходит давление равное 30 МПа. После опрессовывания кирпича поднимается верхний пуансон затем нижний. После поднятия обоих пуансонов кирпичи освобождаются из пресс-формы. Затем кирпичи выталкиваются из зоны прессования ящиком-дозатором и цикл производства кирпича повторяется, а сам кирпич, в ручную, перегружается с прессы на металлические поддоны. Поддоны с кирпичом берутся виловым погрузчиком и перевозятся в пропарочную где кирпич подвергается термической обработке в течении 3 часов.

После обработки кирпича в пропарочных его достают так же виловым погрузчиком и собирают в поддоны или же подвергают рустированию путем механической обработки, и так же собирают в поддоны.

Для проведения реинжиниринга технологического комплекса кирпичного производства необходимо сформировать альтернативные компоновочные варианты. В результате исследования, учитывая особенности технологического процесса и габаритов имеющегося производственного здания были сформированы 3 альтернативных варианта расположения оборудования, с различной степенью механизации и автоматизации [2].

Для первоначального анализа альтернативных вариантов было произведено имитационное моделирование каждого из них в среде GPSS World, а именно расширенном редакторе [3].

На следующем этапе произведены расчеты экономической обоснованности всех трех проектных вариантов. Рассчитана стоимость вложений, годовой экономический эффект и срок окупаемости вложений.

Таблица

Технико-экономические показатели проектных вариантов

Показатель	Ед. изм.	1 вариант	2 вариант	3 вариант
Объем капитальных вложений	руб.	927000	5593200	7393800
Затраты энергоресурсов	кВт·ч	70240	76410,2	109844
Амортизационные отчисления на оборудование	руб.	37640	240355	319855
Годовой экономический эффект	руб.	279457,8	1525839,5	1229614,6
Срок окупаемости	лет	3,3	3,6	6

Выводы

В работе решена задача организационно-технического обеспечения реинжиниринга технологического комплекса кирпичного производства. Основные итоги работы:

- 1) Был произведен сравнительный анализ характеристик оборудования и проведен его подбор.
- 2) Разработано три варианта компоновки оборудования, с различной степенью механизации и автоматизации.
- 3) Произведено имитационное моделирование каждого из вариантов в среде GPSS World.
- 4) Были произведены расчеты экономической обоснованности всех трех проектов. Рассчитана стоимость вложений, годовой экономический эффект и срок окупаемости вложений.

Библиографический список

1. Гудков К.В. Повышение качества продукции кирпичного производства на основе технологического реинжиниринга / К. В. Гудков, В. Ю. Анцев, А. Н. Шафорост [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 9. – С. 490-494.
2. Шафорост А. Н. Структурно-параметрический синтез транспортных систем механо-сборочных цехов машиностроительных предприятий / А. Н. Шафорост // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 11-2. – С. 115-123.
3. Анцев В. Ю. Верификация математической модели структурно-параметрического синтеза системы подъемно- транспортных машин цехов и участков машиностроительных предприятий / В. Ю. Анцев, А. Н. Шафорост, Н. Н. Трушин // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 14 февраля 2020 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. – С. 32-36.

References

1. Gudkov K.V. Improving the quality of brick production based on technological re-engineering / K. V. Gudkov, V. Yu. Antsev, A. N. Shaforost [et al.] // Izvestiya of Tula State University. Technical Sciences. – 2023. – No. 9. – Pp. 490-494.
2. Shaforost A.N. Structural and Parametric Synthesis of Transport Systems in Mechanical and Assembly Plants of Machine-Building Enterprises / A.N. Shaforost // Izvestiya of Tula State University. Technical Sciences. – 2016. – No. 11-2. – Pp. 115-123.
3. Antsev V. Yu. Verification of the Mathematical Model of Structural and Parametric Synthesis of the System of Lifting and Transport Machines in the Workshops and Sections of Machine-Building Enterprises / V. Yu. Antsev, A. N. Shaforost, and N. N. Trushin // Terrestrial Transport and Technological Complexes and Means: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Tyumen, February 14, 2020. – Tyumen: Tyumen Industrial University, 2020. – Pp. 32-36.

УДК 69.002.5

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры
строительной техники и инженерной
механики им. профессора Н.А. Ульянова
Д.Н. Дегтев
Магистрант гр. мМОСК-241
И.С. Мокраусов
Магистрант гр. мПСАД-251
Ю.А. Дегтева
Магистрант гр. мМОСК-241
А.А. Пожарицкий
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 207-22-20
доб. 5128, e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

*Voronezh State
Technical University
Cand. of Techn. Science, Associate Professor
of the Department of Construction Equipment
and Engineering Mechanics named
after Professor N.A. Ulyanov D.N. Degtev
Master's student gr. mMOSK-241
I.S. Mokrausov
Master's student gr. mPSAD-251
Yu.A. Degteva
Master's student gr. mMOSK-241
A.A. Pozharitsky
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 207-22-20
доб. 5128, e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

Д.Н. Дегтев, И.С. Мокраусов, Ю.А. Дегтева, А.А. Пожарицкий

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРКОМ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С УЧЁТОМ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ

В статье рассматриваются вопросы организации управления парком строительной техники с учётом технического состояния машин и производственных требований. Определены ключевые показатели технической готовности и использования парка, проанализировано их влияние на эффективность строительно-монтажных работ. Рассмотрены организационные формы управления, система технического обслуживания и ремонта, а также современные цифровые инструменты повышения эффективности, включая ГЛОНАСС/GPS-мониторинг и предиктивную диагностику.

Ключевые слова: строительные машины, технический парк, коэффициент технической готовности, техническое обслуживание и ремонт, цифровизация, ГЛОНАСС-мониторинг, управление механизацией.

D.N. Degtev, I.S. Mokrausov, Yu.A. Degteva, A.A. Pozharitsky

ORGANIZATION OF EFFECTIVE MANAGEMENT OF THE CONSTRUCTION EQUIPMENT FLEET CONSIDERING T ECHNICAL CONDITION AND PRODUCTION TASKS

The article discusses the issues of organizing management of a construction equipment fleet considering the technical condition of machines and production requirements. Key indicators of technical readiness and fleet utilization are defined, and their impact on the efficiency of construction and installation works is analyzed. Organizational forms of management, maintenance and repair systems, and modern digital tools for improving efficiency – including GLONASS/GPS monitoring and predictive diagnostics – are examined.

Keywords: construction machinery, equipment fleet, technical readiness coefficient, maintenance and repair, digitalization, GLONASS monitoring, mechanization management.

Строительные машины являются одним из ключевых производственных ресурсов любой строительной организации, а их техническое состояние и организация использования напрямую определяют себестоимость, сроки и безопасность строительно-монтажных работ. Актуальность темы обусловлена высокой степенью механизации современного строительства, жёсткими договорными сроками выполнения работ, существенными экономическими потерями от простоев техники, а также необходимостью планомерного снижения затрат на техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р) парка машин.

Вопросы организации и планирования ТО и Р с применением современных технологий исследовались в ряде научных работ. В частности, в работе показано, что внедрение системного подхода к планированию ТО и Р существенно сокращает долю незапланированных простоев и снижает совокупные эксплуатационные затраты. Цель настоящей статьи – рассмотреть принципы организации эффективного управления парком строительной техники с учётом технического состояния машин и производственных задач.

Техническое состояние парка – это совокупность свойств машин, определяющих их работоспособность и готовность к выполнению производственных задач. В соответствии с ГОСТ 27.002-2015 различают четыре категории технического состояния объекта: исправное, работоспособное, ограниченно работоспособное и неработоспособное. При комплексной оценке парка учитываются надёжность, остаточный ресурс, частота отказов и ремонтпригодность машин; совместный анализ этих характеристик служит основой для решений о ремонте, замене или перераспределении техники.

В российской практике применяются три основные организационные формы управления парком строительной техники (рис. 1). Децентрализованная форма предполагает закрепление машин за отдельными участками или объектами; централизованная — сосредоточение техники в управлении механизации; смешанная форма сочетает элементы обоих подходов. Централизованная форма наиболее эффективна для крупных организаций, одновременно работающих на нескольких объектах, поскольку позволяет концентрировать ремонтные ресурсы и повышать загрузку машин.



$K_{тг} \geq 0,75$ — ключевой норматив для всех форм управления [1, 4]

Рис. 1. Организационные формы управления парком строительных машин

Ключевым количественным показателем является коэффициент технической готовности ($K_{тг}$), определяемый как отношение числа исправных машин к их общему количеству в парке [7]. Нормативное значение данного коэффициента принимается не ниже 0,70–0,75. Зависимость производственных результатов от технического состояния парка носит пропорциональный характер: снижение $K_{тг}$ на 0,1 сокращает объём механизированных работ на 8–12 процентов (рис. 2) [1]. По данным ряда крупных российских дорожно-строительных компаний, незапланированные простои увеличивают себестоимость механизированных работ на 15–25 процентов [8].

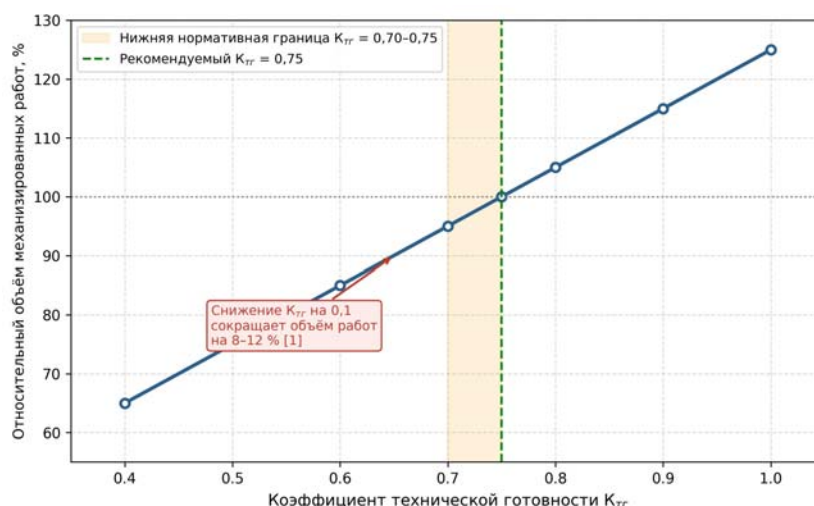


Рис. 2. Зависимость относительного объёма механизированных работ от коэффициента технической готовности парка

Основой поддержания работоспособности парка является система ТО и Р, регламентированная ГОСТ 25646-83 [10] и ГОСТ 18322-2016 [6]. Система включает: ежедневное техническое обслуживание (ЕО), периодические ТО-1 и ТО-2, сезонное обслуживание (СО), текущий и капитальный ремонт. Переход к планово-предупредительной системе ТО и Р позволяет снизить долю внеплановых ремонтов с 35–40 до 10–15 процентов и сократить совокупные затраты на ТО и Р на 18–22 процента [8].

Современные подходы к организации и планированию ТО и Р с применением цифровых технологий исследованы в работе [3], где авторы демонстрируют, что системный подход к управлению техническим обслуживанием обеспечивает значительное сокращение простоев. При оценке технического состояния машин также необходимо учитывать виброакустические параметры: по данным работы [4], анализ вибрационных характеристик уже на стадии проектирования транспортно-технологических машин позволяет прогнозировать и предупреждать эксплуатационные отказы узлов.

Современным направлением повышения эффективности управления парком строительных машин является цифровизация производственных процессов [11]. Ключевые инструменты — спутниковый ГЛОНАСС/GPS-мониторинг, автоматический контроль моточасов, учёт расхода топлива, ведение электронных журналов ТО и предиктивная диагностика технического состояния. Российские программные решения, в частности система «АвтоГРАФ», позволяют в режиме реального времени отслеживать местоположение машины, наработку, расход топлива и коды неисправностей [11].

По данным строительных организаций Воронежской области, внедрение систем ГЛОНАСС-мониторинга обеспечило снижение расхода топлива на 8–12 процентов, сокращение простоев — на 15–20 процентов, уменьшение затрат на внеплановые ремонты — на 20–25 процентов [11].

Выводы

1. Техническое состояние парка строительной техники, характеризуемое коэффициентом технической готовности, оказывает прямое влияние на объём, сроки и себестоимость механизированных работ: снижение $K_{\text{тг}}$ на 0,1 сокращает объём механизированных работ на 8–12 процентов.

2. Рациональная система ТО и Р, основанная на планово-предупредительном принципе, позволяет снизить долю внеплановых ремонтов с 35–40 до 10–15 процентов и уменьшить совокупные затраты на ТО и Р на 18–22 процента.

3. Применение централизованной организационной формы управления парком совместно с цифровыми инструментами ГЛОНАСС/GPS-мониторинга и предиктивной диагностики обеспечивает комплексный эффект: сокращение простоев, снижение топливных и ремонтных затрат, повышение качества управленческих решений.

Библиографический список

1. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. — М.: Стандартиформ, 2017. — 20 с.
2. ГОСТ 25646-83. Эксплуатация строительных машин. Общие требования. — М.: Издательство стандартов, 1983. — 14 с.
3. ГОСТ 27.002-2015. Надёжность в технике. Термины и определения. — М.: Стандартиформ, 2016. — 28 с.
4. Дегтев Д.Н., Осипов А.А., Журавлев А.В., Аристов В.Г. Организация и планирование технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) с применением современных технологий // Высокие технологии в строительном комплексе. — 2018. — № 2. — С. 14–16. — EDN YSTGXZ.
5. Добронравов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматизации: учебник для вузов. — М.: Высшая школа, 2001. — 575 с.
6. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов. — М.: Магистр-Пресс, 2005. — 536 с.
7. Иванов В.П. Ремонт автомобилей: учебник. — Минск: Высшая школа, 2009. — 383 с.
8. Крамаренко Г.В. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов. — М.: Транспорт, 1983. — 488 с.
9. Либерман И.А. Техничко-экономический анализ в строительстве: учеб. пособие. — М.: Центр экономики и маркетинга, 2003. — 272 с.
10. Синенко С.А., Стариков А.С. Информационные технологии в строительстве: учеб. пособие. — М.: МГСУ, 2010. — 183 с.
11. Строкин В.Н. Техническая эксплуатация дорожных машин, автомобилей и тракторов: учебник / под ред. Е.С. Кузнецова. — 2-е изд. — М.: Академия, 2013. — 464 с.
12. Устинов Ю.Ф., Волков Н.М., Дегтев Д.Н. Оценка виброакустических параметров транспортных и транспортно-технологических машин на стадии проектирования // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии». — 2012. — № 1. — С. 308–312. — EDN PXTNPT.

References

1. GOST 18322-2016. Maintenance and Repair System for Equipment. Terms and Definitions. Moscow: Standartinform, 2017. 20 p.
2. GOST 25646-83. Operation of Construction Machines. General Requirements. Moscow: Izdatelstvo Standartov, 1983. 14 p.
3. GOST 27.002-2015. Dependability in Technics. Terms and Definitions. Moscow: Standartinform, 2016. 28 p.
4. Degtev D.N., Osipov A.A., Zhuravlev A.V., Aristov V.G. Organization and Planning of Maintenance and Repair (M&R) Using Modern Technologies. High Technologies in the Construction Complex. 2018. No. 2. P. 14–16. EDN YSTGXZ.
5. Dobronravov S.S., Dronov V.G. Construction Machines and Automation Fundamentals: textbook. Moscow: Vysshaya Shkola, 2001. 575 p.
6. Zorin V.A. Fundamentals of Technical Systems Performance: textbook. Moscow: Magistr-Press, 2005. 536 p.
7. Ivanov V.P. Automobile Repair: textbook. Minsk: Vysshaya Shkola, 2009. 383 p.
8. Kramarenko G.V. Technical Operation of Automobiles: textbook. Moscow: Transport, 1983. 488 p.
9. Liberman I.A. Technical and Economic Analysis in Construction: study guide. Moscow: Tsentr Ekonomiki i Marketinga, 2003. 272 p.
10. Sinenko S.A., Starikov A.S. Information Technologies in Construction: study guide. Moscow: MGSU, 2010. 183 p.
11. Strokin V.N. Technical Operation of Road Machinery, Automobiles and Tractors / ed. by E.S. Kuznetsov. 2nd ed. Moscow: Akademia, 2013. 464 p.
12. Ustinov Yu.F., Volkov N.M., Degtev D.N. Assessment of Vibroacoustic Parameters of Transport and Transport-Technological Machines at the Design Stage. Scientific Bulletin of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. 2012. No. 1. P. 308–312. EDN PXTNPT.

УДК 69.002.5

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доцент кафедры
строительной техники и инженерной
механики им. профессора Н.А. Ульянова
Д.Н. Дегтев
Магистрант гр. мМОСК-241
И.С. Мокраусов
Магистрант гр. мПСАД-251
Ю.А. Дегтева
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 207-22-20
доб. 5128, e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

*Voronezh State
Technical University
Cand. of Techn. Science, Associate Professor
of the Department of Construction Equipment
and Engineering Mechanics named after
Professor N.A. Ulyanov D.N. Degtev
Master's student gr. mMOSK-241
I.S. Mokrausov
Master's student gr. mPSAD-251
Yu.A. Degteva
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 207-22-20
доб. 5128, e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

Д.Н. Дегтев, И.С. Мокраусов, Ю.А. Дегтева

МОБИЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТНОГО «ЛЕТУЧЕГО ОТРЯДА» И СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ВРЕМЕНИ НА ПЕРЕГОН ТЕХНИКИ

В статье рассматривается организация мобильного технического обслуживания строительной техники в полевых условиях как инструмент снижения потерь от простоев на удалённых объектах. Определены состав и функции ремонтного «летучего отряда», охарактеризован агрегатный метод ремонта, предложен организационный критерий целесообразности применения мобильного ТО. Обоснованы преимущества и ограничения мобильного формата по сравнению со стационарной ремонтной базой, а также роль цифровой диспетчеризации в повышении оперативности выездных бригад.

Ключевые слова: мобильное техническое обслуживание, ремонтный «летучий отряд», агрегатный метод, потери времени, строительная техника, диспетчеризация, передвижная мастерская.

D.N. Degtev, I.S. Mokrausov, Yu.A. Degteva

MOBILE MAINTENANCE IN FIELD CONDITIONS. ORGANIZING A REPAIR FLYING SQUAD AND REDUCING TIME LOSSES FOR EQUIPMENT REDEPLOYMENT

The article examines the organization of mobile technical maintenance of construction equipment in field conditions as a tool for reducing downtime losses at remote sites. The composition and functions of a repair flying squad are defined, the aggregate repair method is described, and an organizational criterion for the feasibility of mobile maintenance is proposed. The advantages and limitations of the mobile format compared to a stationary repair base are substantiated, along with the role of digital dispatching in improving the response speed of field teams.

Keywords: mobile maintenance, repair flying squad, aggregate method, time losses, construction machinery, dispatching, mobile workshop.

Современная эксплуатация строительной и дорожно-строительной техники связана с работой на удалённых объектах, территориальной рассредоточенностью машин и высокой стоимостью простоев [1]. При выходе машины из строя организация несёт сразу две категории потерь: временные потери на ожидание ремонта и потери на перегон техники до стационарной базы и обратно [2]. Именно в таких условиях мобильное техническое обслуживание (МТО) становится полноценным организационным элементом системы управления машинным парком.

Организация и планирование ТОиР с применением современных технологий рассматривались в научных работах кафедры [3], где показано, что системный подход к планированию обслуживания существенно сокращает долю незапланированных простоев. Цель статьи – рассмотреть принципы организации мобильного ТО в полевых условиях и показать, как создание ремонтного «летучего отряда» позволяет сократить потери времени на перегон строительной техники.

Под мобильным техническим обслуживанием в полевых условиях понимается комплекс мероприятий по диагностике, регулировке, смазке, замене расходных материалов и выполнению отдельных ремонтных операций непосредственно в зоне работы машин [5]. Ключевой принцип: рациональнее перемещать ремонтные ресурсы к машине, а не машину к ремонту. Данный подход особенно актуален для экскаваторов, бульдозеров, автогрейдеров, катков и автокранов — техники, перегон которой требует значительного времени, топлива, сопровождения или использования тралов [1].

В полевых условиях целесообразно выполнять ежедневное обслуживание (ЕО), часть плановых операций ТО-1 и ТО-2, экспресс-диагностику, устранение мелких и средних отказов, а также агрегатную замену узлов [6]. Агрегатный метод особенно эффективен: он сокращает продолжительность ремонта за счёт установки заранее подготовленного исправного агрегата из обменного фонда и последующего восстановления снятого агрегата в стационарных условиях [7]. Капитальный ремонт, сложные операции с базовыми рамами и высокоточные регулировки по-прежнему требуют стационарной базы [2].

Ремонтный «летучий отряд» представляет собой мобильную выездную бригаду, оснащённую транспортным средством мастерского типа, инструментом, средствами диагностики, запасными частями и расходными материалами [8]. Схема состава и оснащения типового «летучего отряда» представлена на рис. 1.

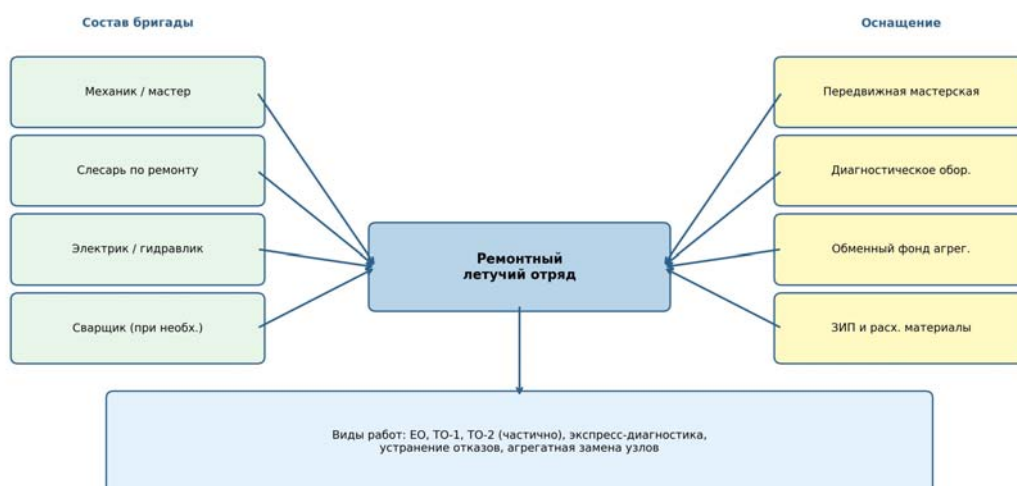


Рис. 1. Состав и оснащение ремонтного «летучего отряда»

В типовой состав бригады входят: механик или мастер, слесарь по ремонту, электрик или специалист по гидросистемам, при необходимости — сварщик. Состав определяется численностью парка, удалённостью объектов и характером наиболее частых отказов. Особое значение имеет диагностическое оборудование, позволяющее оперативно установить причину отказа и принять управленческое решение [5].

Организация работы отряда строится на диспетчеризации и приоритизации заявок. Для каждой единицы техники ведётся карта технического состояния с наработкой, историей отказов и сроками регламентного обслуживания. Это позволяет заранее планировать выезды, формировать комплект запасных частей и снижать вероятность повторных отказов [9]. При оценке технического состояния машин дополнительным инструментом служит анализ виброакустических параметров: по данным работы [4], такой анализ позволяет прогнозировать эксплуатационные отказы узлов ещё на стадии диагностики.

Потери времени на перегон техники возникают всякий раз, когда машина выводится с объекта для обслуживания или ремонта на стационарной базе. Организационный эффект применения мобильного ТО выражается следующим соотношением [8]

$$\Delta T = (t_{\text{пер}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{возвр}}) - t_{\text{моб}},$$

где $t_{\text{пер}}$ — время перегона техники на базу, $t_{\text{рем}}$ — время ожидания и выполнения ремонта, $t_{\text{возвр}}$ — время возврата машины на объект, $t_{\text{моб}}$ — продолжительность работ мобильного отряда на объекте. Если значение ΔT положительно, применение мобильного ТО организационно целесообразно [8].

Сравнение потерь времени при стационарном ремонте и применении мобильного ТО представлено на рис. 2.

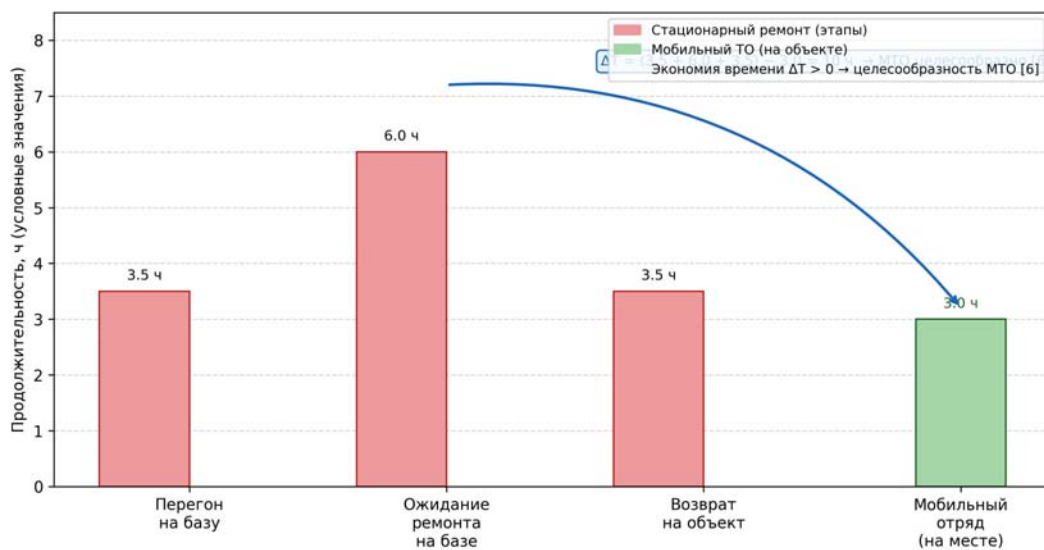


Рис. 2. Сравнительная оценка потерь времени при стационарном ремонте и мобильном ТО

Дополнительными мерами снижения потерь времени являются: рациональное размещение временных пунктов обслуживания вблизи крупных объектов, создание обменного фонда агрегатов, предварительное комплектование летучки запасными частями и использование цифровых каналов связи между механиком объекта и ремонтной службой [9, 10]. Передача данных о неисправности заблаговременно сокращает время диагностики и позволяет подготовить отряд к выезду ещё до прибытия на место.

Выводы

1. Мобильное ТО в полевых условиях является полноценным организационным элементом системы управления строительным парком, позволяющим сократить простои и потери времени на перегон техники за счёт приближения ремонтных ресурсов к месту работы машин.
2. Организационный критерий $\Delta T > 0$ служит практическим обоснованием целесообразности создания «летучего отряда»; при положительном значении разности применение МТО экономически и организационно оправдано.
3. Наибольший эффект достигается при правильном составе бригады, оснащении её средствами диагностики и обменными агрегатами, а также при грамотной цифровой диспетчеризации заявок. Мобильный и стационарный форматы следует рассматривать как взаимодополняющие элементы единой системы ТО и Р.

Библиографический список

1. Дегтев Д.Н., Осипов А.А., Журавлев А.В., Аристов В.Г. Организация и планирование технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) с применением современных технологий // Высокие технологии в строительном комплексе. — 2018. — № 2. — С. 14–16.
2. Добронравов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматизации: учебник для вузов. — М.: Высшая школа, 2001. — 575 с.
3. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. — М.: Стандартиформ, 2017. — 20 с.
4. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов. — М.: Магистр-Пресс, 2005. — 536 с.
5. Иванов В.П. Основы ремонта машин: учеб. пособие. — Минск: Высшая школа, 2009. — 383 с.
6. Либерман И.А. Техничко-экономический анализ в строительстве: учеб. пособие. — М.: Центр экономики и маркетинга, 2003. — 272 с.
7. Синенко С.А., Стариков А.С. Информационные технологии в строительстве: учеб. пособие. — М.: МГСУ, 2010. — 183 с.
8. Строкин В.Н. Техническая эксплуатация дорожных машин, автомобилей и тракторов: учебник / под ред. Е.С. Кузнецова. — 2-е изд. — М.: Академия, 2013. — 464 с.
9. Устинов Ю.Ф., Волков Н.М., Дегтев Д.Н. Оценка виброакустических параметров транспортных и транспортно-технологических машин на стадии проектирования // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии». — 2012. — № 1. — С. 308–312.
10. Жулай В.А., Енин В.И. Спектральный анализ виброакустического сигнала зубчатой передачи // Вестник машиностроения. 2007. №1. С. 31-33.

References

1. Degtev D.N., Osipov A.A., Zhuravlev A.V., Aristov V.G. Organization and Planning of Maintenance and Repair (M&R) Using Modern Technologies. High Technologies in the Construction Complex. 2018. No. 2. P. 14–16.

2. Dobronravov S.S., Dronov V.G. Construction Machines and Automation Fundamentals: textbook. Moscow: Vysshaya Shkola, 2001. 575 p.
3. GOST 18322-2016. Maintenance and Repair System for Equipment. Terms and Definitions. Moscow: Standartinform, 2017. 20 p.
4. Zorin V.A. Fundamentals of Technical Systems Performance: textbook. Moscow: Magistr-Press, 2005. 536 p.
5. Ivanov V.P. Fundamentals of Machine Repair: study guide. Minsk: Vysshaya Shkola, 2009. 383 p.
6. Liberman I.A. Technical and Economic Analysis in Construction: study guide. Moscow: Tsentr Ekonomiki i Marketinga, 2003. 272 p.
7. Sinenko S.A., Starikov A.S. Information Technologies in Construction: study guide. Moscow: MGSU, 2010. 183 p.
8. Strokin V.N. Technical Operation of Road Machinery, Automobiles and Tractors / ed. by E.S. Kuznetsov. 2nd ed. Moscow: Akademia, 2013. 464 p.
9. Ustinov Yu.F., Volkov N.M., Degtev D.N. Assessment of Vibroacoustic Parameters of Transport and Transport-Technological Machines at the Design Stage. Scientific Bulletin of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. 2012. No. 1. P. 308–312.
10. Zhulai V.A., Enin V.I. Spectral analysis of vibroacoustic signal of gear transmission // Bulletin of Mechanical Engineering. 2007. No. 1. P. 31-33.

*НЦВ «Миль и Камов»
Заместитель главного конструктора
программы Д.С. Должиков
Россия, Московская обл., Люберецкий район,
пос. Томилино, тел. +7(926) 157-30-75
e-mail: disedol@yandex.ru
Тульский государственный университет
Д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой
технологии машиностроения
А.А. Маликов
Россия, г. Тула, тел. +7(487) 2-25-46-48
e-mail: finance@tsu.tula.ru
Тульский государственный университет
Д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой
транспортно-технологических машин
и процессов В.Ю. Анцев
Россия, г. Тула, тел. +7(487) 2-25-46-88
e-mail: anzev@yandex.ru*

*NCV Mil and Kamov
Deputy chief designer of the program
D.S. Dolzhikov
Russia, Moscow region, Lyubertsy district,
Tomilino village, tel. 7(926) 157-30-75
e-mail: disedol@yandex.ru
Tula State University
ScD, professor, head of the department
of mechanical engineering technology
A.A. Malikov
Russia, Tula, tel. +7(487) 2-25-46-48
e-mail: finance@tsu.tula.ru
Tula State University
ScD, professor, head of the department
of transport and technological machines
and processes V.Yu. Antsev
Russia, Tula, tel. +7(487) 2-25-46-88
e-mail: anzev@yandex.ru*

Д.С. Должиков, А.А. Маликов, В.Ю. Анцев

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В статье рассматриваются методические подходы к выбору приоритетных инновационных проектов и оценке технологического уровня наукоёмких организаций авиастроения. Предложена интеллектуальная система поддержки принятия решений (ИСППР) стратегического уровня, позволяющая повысить обоснованность выбора проектов, оптимизировать ресурсы и сократить экологическую нагрузку за счёт внедрения передовых технологий. Приведены результаты апробации в вертолётостроительном холдинге.

Ключевые слова: управление проектами, авиационная техника, система поддержки принятия решений, технологический уровень, экологическая эффективность, высокие технологии.

D.S. Dolzhikov, A.A. Malikov, V.Yu. Antsev

IMPROVEMENT OF THE PROJECT MANAGEMENT SYSTEM FOR THE CREATION OF HIGH-TECH VEHICLES OF THE TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL COMPLEX

The article discusses methodological approaches to the selection of priority innovative projects and assessment of the technological level of knowledge-intensive aviation organizations. A strategic-level intelligent decision support system (IDSS) is proposed to improve the validity of project selection, optimize resources and reduce the environmental impact through the introduction of advanced technologies. The results of approbation in a helicopter holding company are presented.

Keywords: project management, aviation equipment, decision support system, technological level, environmental efficiency, high technologies.

Развитие транспортно-технологического комплекса Российской Федерации неразрывно связано с авиастроением. Авиационная техника (АТ) предъявляет жёсткие требования к надёжности, безопасности и экологической совместимости (снижение шума, выбросов CO₂, NO_x, расхода топлива). Обеспечение этих характеристик закладывается на стадиях проектирования, достигается в производстве и поддерживается при эксплуатации. Как показали исследования, до 70 % дефектов, проявляющихся в эксплуатации, имеют конструкторско-технологическую природу, а стоимость их устранения на последующих стадиях возрастает в десятки раз. Поэтому ключевое значение приобретает качество организации и управления проектами создания АТ – от выбора приоритетных проектов до оценки технологической готовности предприятий-соисполнителей.

В условиях санкционного давления и необходимости обеспечения технологического суверенитета актуальность приобретают задачи импортозамещения и создания радикально новой продукции с улучшенными экологическими показателями. Существующие системы поддержки принятия решений (СППР) в авиастроительных холдингах преимущественно ориентированы на оперативный и тактический уровни, не обеспечивая интеллектуальной поддержки слабоструктурированных стратегических решений [1, 2]. Целью настоящей работы является разработка концепции и инструментария интеллектуальной СППР для управления проектами создания АТ, позволяющей повысить эффективность и экологическую безопасность транспортно-технологического комплекса.

Для обоснованного выбора исполнителей проектов (в том числе проектов импортозамещения) разработана методика выбора предприятий-партнёров на основе модифицированного метода анализа иерархий. Выделены девять высших критериев: конструкторские ресурсы, технологические компетенции, финансовая дисциплина, качество, авторский надзор, лицензионные договоры, IT-компетенции, компетенции в опытном производстве, система управления. Детализация до 40 подкритериев позволяет учитывать специфику авиастроения. Оценка весов производится с помощью матрицы парных сравнений и метода абсолютного вклада, исключающего некорректность классического подхода Саати [3]. Апробация на предприятиях холдинга «Вертолёты России» показала, что интегральный балл позволяет ранжировать кандидатов и визуализировать их сильные и слабые стороны в виде многоугольника конкурентоспособности (рис. 1) [4].

Для оценки готовности организации к выпуску импортозамещающей продукции предложена методика оценки ее технического и технологического уровня. В основе методики лежит дерево целей, включающее шесть высших критериев: оснащённость, технологическое совершенство, инновации, технологические платформы, квалификация, технологический суверенитет [5]. Последний критерий введён впервые и рассчитывается как агрегированный показатель доли освоенных критических технологий, отечественных материалов и комплектующих. Интегральный показатель нормируется от 0 до 6 и интерпретируется от «нежелательно» до «наивысший (драйвер роста)». В качестве примера проведен расчёт показателя для трёх условных конструкторских бюро (КБ 1, КБ 2, КБ 3), который показал, что КБ 1 обладает сбалансированным высоким уровнем (4,25), КБ 2 – средним (4,00), КБ 3 – удовлетворительным (3,28). Выбор исполнителя с более высоким уровнем технологического суверенитета позволяет снизить риски срыва сроков и повысить экологичность производства за счёт использования современных отечественных технологий.

На основе анализа теоретических и практических аспектов разработана концепция интеллектуальной СППР стратегического уровня [6]. В ее рамках предложена функциональная структура ИСППР, включающая шесть блоков: формирование перспективного облика продукта, разработка, производство, послепродажное обслуживание, общий блок (коммерция, обучение, кибербезопасность, риски) и блок конкурентоспособности (ядро системы). Интеграция с существующими корпоративными системами (ERP, PLM, СЭД, Teamcenter, «Адванта», АС ФЗД) достигается через единый электронный информационный ресурс на основе

онтологии предприятия. Данные структурированы по пяти тематическим хранилищам: «Формирование перспективных образцов», «Реализация проектов», «Послепродажное обслуживание», «Библиотека», «Мировое информационное пространство». Система поддерживает диалоговый режим с ЛПР, адаптивное изменение весов критериев, генерацию альтернатив и сценарный анализ.



Рис. Многоугольник конкурентоспособности предприятий-партнёров

Создание высокотехнологичной АТ с использованием предложенных методик и ИСППР способствует решению следующих экологических задач транспортно-технологического комплекса:

- снижение расхода топлива и выбросов CO_2 за счёт выбора проектов, направленных на разработку более эффективных двигателей и аэродинамических схем;
- уменьшение шумового загрязнения аэропортов при реализации проектов по созданию винтокрылых машин нового поколения с низким уровнем шума;
- сокращение производственных отходов и повышение ресурсоэффективности благодаря выбору исполнителей с высокими технологическими компетенциями и развитой системой управления качеством;
- возможность интеграции с экологическими нормативными базами для автоматического контроля соответствия проектов требованиям «зелёных» стандартов.

Выводы

Разработанный инструментарий позволяет авиастроительным холдингам повысить обоснованность выбора приоритетных инновационных проектов, оценить технологическую готовность предприятий-соисполнителей с учётом импортозамещения, создать стратегическую ИСППР, интегрированную с существующими информационными системами. Внедрение предложенных решений в холдинге «Вертолёты России» обеспечило увеличение доли выполненных проектов с 44,9 % (2018 г.) до 74,8 % (2023 г.), рост выручки на 27,6 %, снижение расходов на 16 % и сокращение сроков проектирования, что также положительно сказалось на экологических показателях (снижение энергопотребления, уменьшение отходов). Дальнейшие исследования направлены на создание полноценного программного комплекса и его адаптацию для других высокотехнологичных отраслей (строительные и дорожные машины, железнодорожный транспорт, судостроение).

Библиографический список

1. Должиков Д.С. О вопросах применимости систем поддержки принятия решений в авиационной промышленности // Экономика и управление: проблемы, решения. 2020. Т. 1, № 12(108). С. 68-73.
2. Разработка теоретических и практических аспектов усовершенствования систем поддержки принятия решений для устойчивого развития высокотехнологичных организаций / А.А. Чурсин, А.И. Богинский, Д.С. Должиков, С.В. Назюта // Креативная экономика. 2024. Т. 18. № 2. С. 357-372.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.
4. Должиков Д.С., Кокуйцева Т.В. Методические подходы к выбору предприятий-партнеров как инструмент системы поддержки принятия управленческих решений в высокотехнологичных отраслях промышленности // Горизонты экономики. 2022. № 1(67). С. 11-24.
5. Артяков В.В., Должиков Д.С., Чурсин А.А. Методические подходы к определению приоритетных направлений достижения планового технологического уровня развития машиностроительной наукоёмкой организации // Инновации и инвестиции. 2023. № 4. 349-356.
6. Turban E. Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems. 4th ed. Prentice Hall, 1995. 887 p.

References

1. Dolzhikov D.S. On the Applicability of Decision Support Systems in the Aviation Industry // Economy and Management: Problems, Solutions. 2020. Vol. 1, № 12(108). P. 68-73.
2. Development of Theoretical and Practical Aspects of Improving Decision Support Systems for the Sustainable Development of High-Tech Organizations / A.A. Chursin, A.I. Boginsky, D.S. Dolzhikov, S.V. Nazyuta // Creative Economy. 2024. Vol. 18, № 2. P. 357-372.
3. Saati T. Decision Making. Hierarchy Process Analysis Method: Translated from English. Moscow: Radio and Communications, 1993. 320 p.
4. Dolzhikov D.S., Kokuytseva T.V. Methodological approaches to the selection of partner enterprises as a tool of decision support system in high-tech industries // Horizons of Economics. 2022. № 1(67). P. 11-24.
5. Artyakov V.V., Dolzhikov D.S., Chursin A.A. Methodological approaches to determining priority directions for achieving the planned technological level of development of a machine-building knowledge-intensive organization // Innovations and Investments. 2023. № 4. P. 349-356.
6. Turban E. Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems. 4th ed. Prentice Hall, 1995. 887 p.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 699.865

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования зданий и сооружений
им. Н.В. Троицкого Э.Е. Семенова
Магистрант кафедры проектирования
зданий и сооружений им. Н.В. Троицкого
А.Е. Вуколова
Россия, г. Воронеж, тел. +79304121580
e-mail: vukolovalina@gmail.com*

*Voronezh State
Technical University
Professor, Department of Design of Buildings
and Structures N.V. Troitsky
E.E. Semenova
Master of the Department of Design
of Buildings and Structures N.V. Troitsky
A.E. Vukolova
Russia, Voronezh, tel. +79304121580
email: vukolovalina@gmail.com*

А.Е. Вуколова, Э.Е. Семенова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЗДАНИЯ КАК ОСНОВАНИЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ЕГО РЕКОНСТРУКЦИИ

Обоснована необходимость проведения реконструкции тепловой оболочки здания центра детского творчества в г. Воронеж на основании расчета теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций и определения класса энергосбережения здания.

Ключевые слова: энергоэффективность здания, класс энергосбережения, класс энергоэффективности, центр детского творчества, тепловая защита.

А.Е. Vukolova, E.E. Semenova

DETERMINATION OF THE ENERGY SAVING CLASS OF A BUILDING AS A BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF DESIGN SOLUTIONS FOR ITS RECONSTRUCTION

The article provides an analysis of the need to reconstruct the thermal envelope of the building of the Children's Art Center in Voronezh based on the calculation of the thermal characteristics of the external enclosing structures and the determination of the energy saving class of the building.

Keywords: energy efficiency of the building, energy saving class, energy efficiency class children's art center, insulation.

Реконструкция существующего фонда зданий детских садов, школ, учреждений дополнительного образования детей – не просто техническая задача, а стратегический приоритет, закрепленный на государственном уровне. Модернизация инфраструктуры для детей входит в перечень основных задач «Концепции развития дополнительного образования детей до 2030 года» и федерального проекта «Всё лучшее детям», который, в свою очередь, является частью национального проекта «Молодежь и дети» [1].

Значительная часть детских учреждений сегодня располагается в зданиях старой постройки, которые характеризуются высоким уровнем теплопотерь, вызванных моральным и физическим износом ограждающих конструкций. Теплопотери приводят к увеличению затрат на отопление и формированию дискомфортного микроклимата здания. Именно поэтому вопрос реконструкции существующих зданий неразрывно связан с вопросом повышения эффективности использования энергоресурсов в процессе их эксплуатации, что, в свою очередь, связано с теплотехническими характеристиками ограждающих конструкций.

Эффективность использования энергоресурсов зданием в России выражается двумя параметрами: классом энергосбережения и классом энергоэффективности.

Класс энергоэффективности является комплексным показателем – учитывает затраты тепловой энергии на отопление и вентиляцию, на горячее водоснабжение и электроснабжение. Класс энергосбережения принимает во внимание только затраты на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период. [2]

Целью данной статьи является определение класса энергосбережения здания Центра творчества детей и юношества «Спутник» в г. Воронеж для выявления необходимости реконструкции его тепловой оболочки и повышения класса энергоэффективности в целом.

Центр детского творчества расположен в здании бывшей школы №53, до войны – школы №49. Здание построено в 1940 году скоростным методом за 50 рабочих дней. Изначально в школе отсутствовали актовый и физкультурный залы. Недостаток был исправлен во время реконструкции в 1963 году пристройкой спортивного зала и дополнительных классных помещений.

Более старая часть здания двухэтажная, со скатной крышей. Конструкция стен – сплошная кладка из глиняного кирпича, перекрытия – деревянные. Фасад отделан штукатуркой и декоративными элементами. Пристроенная позже часть состоит из трех надземных и цокольного этажей, а также спортзала. Конструкция стен – сплошная кладка из силикатного кирпича, перекрытия железобетонные, крыша малоуклонная бесчердачная. Фасад окрашен, декоративные элементы отсутствуют.

Расчет теплотехнических характеристик ограждающих конструкций проводился в соответствии с СП 50.13330.2024 Тепловая защита зданий. [3] Расчетные условия приведены в таблице 1 [3, 4]

Таблица 1

Расчетные условия

№ п/п	Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	t_n	°C	-23
2	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°C	-1,1
3	Продолжительность отопительного периода	$Z_{от}$	Сут/год	202
4	Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	(°C · сут)/год	4262
5	Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	t_v	°C	20

Геометрические характеристики рассматриваемого здания приведены в таблице 2.

Таблица 2

Геометрические характеристики здания

№ п/п	Показатель	Обозначение	Единица измерения	Расчетное значение
1	Сумма площадей этажей здания	$A_{от}$	m^2	4049,36
2	Расчетная площадь	A_p	m^2	2882,11
3	Отапливаемый объем	$V_{от}$	m^3	12485,113
4	Коэффициент остекленности фасада здания	f		0,104
5	Показатель компактности здания	$K_{комп}$		1,67
6	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, в том числе:	$A_n^{сум}$	m^2	6789,58
	Наружных стен, тип 1	$A_{ст1}$		1246,15
	Наружных стен, тип 2	$A_{ст2}$		1149,92
	Окон	$A_{ок}$		280,67
	Входных дверей	$A_{дв}$		24,36
	Покрытия совмещенного	$A_{покр}$		1078,54
	Чердачного перекрытия	$A_{черд}$		876,94
	Перекрытия над техническим подпольем	$A_{цок1}$		1398,35
	Стен в земле	$A_{цок2}$		177,526
	Пола по грунту	$A_{цок3}$		557,13

Результаты расчета теплотехнических и удельных характеристик здания, а также комплексные показатели расхода тепловой энергии центра детского творчества приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчета

№ п/п	Показатель	Обозначение	Единица измерения	Расчетное значение
Теплотехнические характеристики				
1	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений, в том числе:	$R_o^{пр}$	$(m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$	
	Наружных стен, тип 1	$R_o^{пр}_{ст1}$		0,81
	Наружных стен, тип 2	$R_o^{пр}_{ст2}$		0,88
	Окон	$R_o^{пр}_{ок}$		0,51
	Входных дверей	$R_o^{пр}_{дв}$		0,75
	Покрытия совмещенного	$R_o^{пр}_{покр}$		1,94
	Чердачного перекрытия	$R_o^{пр}_{черд}$		2,12
	Перекрытия над техническим подпольем	$R_o^{пр}_{цок1}$		2,54
	Стен в земле	$R_o^{пр}_{цок2}$		1,89
	Пола по грунту	$R_o^{пр}_{цок3}$		3,57
Удельные характеристики				
2	Удельная теплозащитная характеристика здания	$k_{об}$	$Вт/(м^3 \cdot ^\circ C)$	0,416

Окончание таблицы 3

3	Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{\text{вент}}$	Вт/(м ³ · °С)	0,130
4	Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{\text{быт}}$	Вт/(м ³ · °С)	0,215
5	Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{\text{рад}}$	Вт/(м ³ · °С)	0,024
Комплексные показатели расхода тепловой энергии				
6	Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_{\text{от}}^{\text{р}}$	Вт/(м ³ · °С)	0,409
7	Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_{\text{от}}^{\text{нр}}$	Вт/(м ³ · °С)	0,243
8	Класс энергосбережения			Е

В результате расчета было получено, что величина отклонения расчетного (фактического) значения характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию рассматриваемого здания от нормируемого составляет 68,3%, что соответствует классу энергосбережения Е (низкий).

Выводы

1. Расчет класса энергоэффективности центра творчества детей и юношества «Спутник» в г. Воронеж показал, тепловая оболочка здания нуждается в серьезной модернизации – на данный момент здание не соответствует современным нормам энергоэффективности. Таким образом, реконструкция здания необходима.

2. Наибольшие тепловые потери здания: стены, окна и слабо утепленное совмещенное покрытие. В данном случае наиболее эффективно дорабатывать теплозащитную оболочку здания за счет повышения сопротивления теплопередаче стен, которые на данный момент состоят из сплошной кирпичной кладки без эффективного слоя утеплителя.

Библиографический список

1. Национальные проекты России, официальный сайт. URL: <https://xn--80aаратретсчфмо7а3с9ehj.xn--p1ai/> (дата обращения: 28.04.2026).
2. Иванцов А.И., Петров А.С. К вопросу о повышении класса энергосбережения жилых зданий за счет архитектурно-конструктивных и других // Известия КазГАСУ. 2022. №4 (62).
3. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий. – М.: Минстрой России, 2024. – 74 с.
4. СП 131.13330.2025. Строительная климатология. – М.: Минстрой России, 2025. – 272 с.
5. Кондратьев М.А. Способы повышения энергоэффективности зданий // Наука и образование сегодня. 2019. №4 (39).
6. Семенова Э.Е. Энергетический паспорт здания – способ повышения его энергоэффективности / Э.Е. Семенова, Л.С. Амирханян // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии». 2012. №1. С.190-192.

References

1. National projects of Russia, official website. URL: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/> (date of reference: 04.28.2026).
2. Ivantsov A.I., Petrov A.S. On the issue of increasing the energy saving class of residential buildings due to architectural, structural and other. *Izvestiya KazGASU*, 2022, №4 (62).
3. SP 50.13330.2024. Thermal protection of buildings. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2024, 74 p.
4. SP 131.13330.2025. Construction Climatology. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2025, 272 p.
5. Kondratiev M.A. Ways to improve the energy efficiency of buildings. *Science and education today*, 2019, №4 (39).
6. E.E. Semenova, L.S. Amirkhanyan. Energy passport of a building – a way to increase its energy efficiency. *Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Materials of the interregional scientific and practical conference "High technologies in ecology"*, 2012, No. 1, pp.190-192.

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования зданий и сооружений
им. Н.В.Троицкого Э.Е. Семенова
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования зданий и сооружений
им. А.А. Чехонадских
Россия, г. Воронеж, тел. +79507767407
e-mail: chekhonadskikh.lina@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University
Professor, Department of Design of Buildings
and Structures N.V. Troitsky
E.E. Semenova
Professor, Department of Design of Buildings
and Structures N.V. Troitsky
A.A. Chekhonadskikh
Russia, Voronezh, tel. +79507767407
e-mail: chekhonadskikh.lina@mail.ru*

Э.Е. Семенова, А.А. Чехонадских

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НИЗКОЭМИССИОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ НА ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОПАКЕТОВ

Наиболее результативным решением проблемы, по снижению тепловых потерь через окна, является использование стеклопакетов с низкоэмиссионными покрытиями и заполнением межстекольного пространства инертными газами. Чтобы выявить оптимальные параметры таких окон в данной работе проводится расчет по определению сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций и энергопотребление помещения. По результатам расчета установлено оптимальное термическое сопротивление стеклопакета, которое обеспечивается за счет комплексного применения низкоэмиссионных покрытий и инертных газов.

Ключевые слова: тепловые потери, энергосберегающее покрытие, инертные газы, светопрозрачные конструкции.

E.E. Semenova, A.A. Chekhonadskikh

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF LOW-EMISSION COATINGS AND INERT GASES ON THE THERMAL PROTECTION PROPERTIES OF DOUBLE-GLAZED WINDOWS

The most effective solution to reduce heat loss through windows is to use double-glazed windows with low-emissivity coatings and fill the space between the glasses with inert gases. To determine the optimal parameters of such windows, this paper calculates the thermal resistance of transparent structures and the energy consumption of the room. The results of the calculation indicate the optimal thermal resistance of the double-glazed window, which is achieved through the combined use of low-emissivity coatings and inert gases.

Keywords: heat losses, energy-saving coating, inert gases, translucent structures.

Повышение энергоэффективности зданий и сооружений - одна из ключевых задач современного строительства и архитектуры. В условиях постоянного роста стоимости энергоресурсов и ужесточения экологических требований к объектам капитального строительства, минимизация теплопотерь становится не только экономической необходимостью [1], но и важным фактором обеспечения комфортного микроклимата для людей.

Исторически светопрозрачные конструкции остаются наиболее уязвимым элементом теплозащитной оболочки здания. Несмотря на то, что окна, как правило, занимают меньшую площадь по сравнению с глухими стенами, именно через них может происходить от 30% до 50% всех тепловых потерь помещения. В связи с этим основное внимание инженеров сегодня направлено на совершенствование оптико-теплофизических свойств стеклопакетов.

Наиболее результативным подходом к решению проблемы промерзания и теплоотдачи окон является комплексное применение инновационных технологий: использование стекол с низкоэмиссионными (энергосберегающими) покрытиями и замена обычного воздуха в межстекольном пространстве на инертные газы (аргон, криптон или их смеси) [2]. Низкоэмиссионные покрытия работают как своеобразный тепловой фильтр, отражая длинноволновое тепловое излучение обратно в помещение, а тяжелые инертные газы эффективно подавляют конвективный теплообмен и снижают теплопроводность внутри стеклопакета.

Для объективной оценки того, насколько внедрение данных технологий целесообразно и эффективно, требуются точные математические и инженерные обоснования. Целью данной работы является анализ теплозащитных характеристик современных оконных блоков, на основе теплотехнического расчета стеклопакетов с применением различных типов энергоэффективных покрытий и вариантов газового заполнения, что позволит определить их фактическое сопротивление теплопередаче и выявить оптимальные конструктивные решения.

В общем случае сопротивление теплопередаче окна с учётом всех элементов конструкции. $R_0^{бл}$ может быть рассчитана по формуле (1)

$$R_0^{бл} = \frac{F_0^{бл}}{F_{пер}/R_0^{пер} + F_{ост}/R_0^{ост} + \Psi_{ост} \cdot L_{ост}}, \quad (1)$$

где $F_0^{бл}$ – общая площадь оконного блока, м²;

$F_{пер}$, $F_{ост}$, $F_{непр}$ – площади соответственно переплетов, остекления и непрозрачного заполнения балконных дверей, м²;

$R_0^{пер}$, $R_0^{ост}$, $R_0^{непр}$ – приведенное сопротивление теплопередаче соответственно переплетов, остекления и непрозрачных элементов, м²·°C/Вт;

$\Psi_{ост}$, $\Psi_{непр}$ – линейные коэффициенты теплопередачи в краевых зонах соответственно остекления и непрозрачных элементов, Вт/(м·°C);

$L_{ост}$, $L_{непр}$ – длина краевых зон, м.

При проведении расчетов $R_0^{бл}$ величины $\Psi_{ост}$, $\Psi_{непр}$ принимаются по [33, табл.А.2] в зависимости от конструктивного решения стеклопакетов, показателя теплотехнической эффективности дистанционных рамок $\Sigma (d \cdot \lambda)$, заглубления дистанционных рамок в переплетах.

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период $Q_{огр}^r$, кВт·ч/год [3], [3], определяется по формуле (2)

$$Q_{огр}^r = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{от} \cdot q_{от}^p, \quad (2)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, определяем по СП 50.13330.2024;

$V_{от}$ – отопительный объем помещения;

$q_{от}^p$ – расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

Общие теплотери за отопительный период $Q_{огр}^r$, кВт·ч/год [3], определяются по формуле (3)

$$Q_{огр}^r = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot V_{от} \cdot (k_{об} + k_{вент}), \quad (3)$$

где $V_{от}$ – отопительный объем помещения;

$k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания;

$k_{вент}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, рассчитываем по СП 50.13330.2024.

Удельная теплозащитная характеристика, $k_{об}, \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$ рассчитывается по формуле (4)

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от} \cdot \sum \left(n_{ti} \cdot \frac{A_{\Phi i}}{R_{oi}^{пп}} \right)}, \quad (4)$$

где $R_o^{бл}$ – приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания;

$A_{\Phi i}$ – площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания;

n_{ti} – коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции, определяется по формуле (5)

$$n_{ti} = \frac{t_B^* - t_{от}}{t_B - t_{от}}, \quad (5)$$

где t_B^* , $t_{пов}$ – средняя температура внутреннего и наружного воздуха соответственно для данного помещения, $^\circ C$;

t_B , $t_{от}$ – то же, что в формуле (2.4).

В соответствии с источником [3] для расчёта температуры внутренней поверхности оконной ограждающей конструкции используется формула (6)

$$t_B^{ок} = t_B - \frac{n(t_B - t_H)}{R_o \alpha_B}, \quad (6)$$

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания, $k_{об}^{тр}, Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$, определяется по формуле (7), согласно СП 50.13330.2024.

$$k_{об}^{тр} = \frac{0,16 + 10/\sqrt{V_{от}}}{0,00013 \cdot ГСОП + 0,61}, \quad (7)$$

Расчетные значения климатических и теплоэнергетических показателей с учетом условий Калининграда [4]:

- Расчетная температура наружного воздуха, $t_H = -23^\circ C$.
- Средняя температура наружного воздуха за отопительный период, $t_{от} = 1,3^\circ C$.
- Продолжительность отопительного периода, $z_{от} = 188$ сут/год.
- Градусо-сутки отопительного периода, $ГСОП = 3515,6 (^\circ C \cdot сут)/год$.
- Расчетная температура внутреннего воздуха, $t_B = 20^\circ C$.
- Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности $\alpha_H = 23 Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$.
- Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности оконного блока $\alpha_B = 8 Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$.

В соответствии с рисунком 1, на плане первого этажа исследуемого здания обозначено исследуемое помещение. Его площадь как офисного пространства составляет $18,81 м^2$. Объем – $67,716 м^3$.

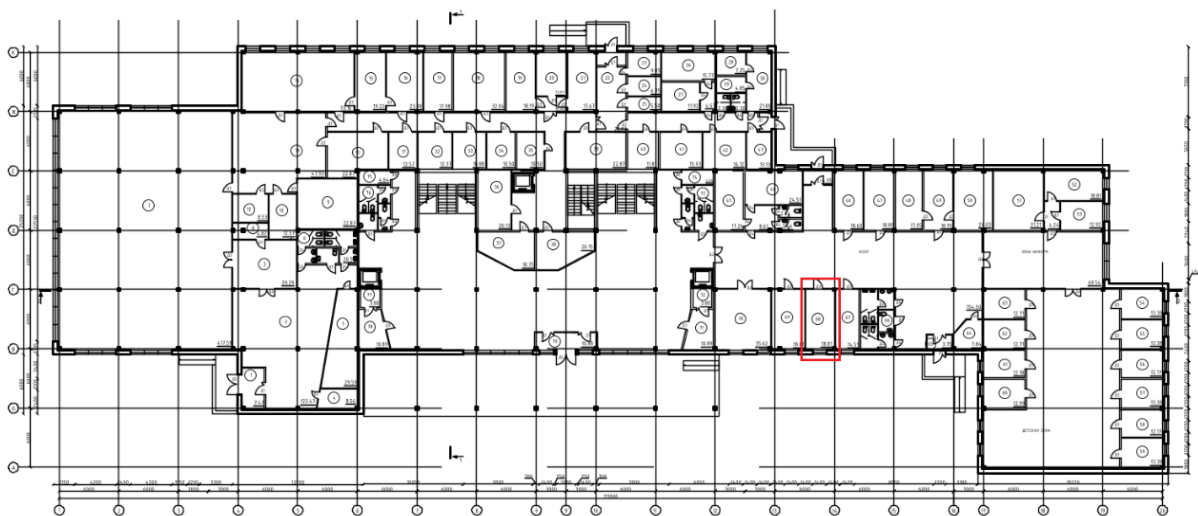


Рис. 1. План 1 этажа

Расчетная схема для определения площади остекления, переплетов, размеров краевых зон оконных блоков приведены на рисунке 2.

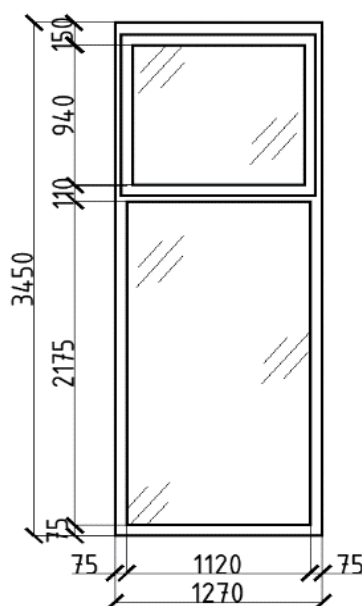


Рис. 2. Схема расчетной конструкции

Для оценки влияния стеклопакета в наружной ограждающей конструкции на расход тепловой энергии на отопление изменяемым фактором будет модификация стеклопакета, согласно таблице 1.

В таблице 1 представлены вариации исследуемых стеклопакетов.

Таблица 1

Характеристика исследуемых стеклопакетов

№	Условное обозначение оконного блока	Параметры оконного блока
1	4M1-10-4M1-10-4M1	32 мм. Двухкамерный, воздух
2	4M1-10-4M1-10-4K	32 мм. Двухкамерный, воздух, k-стекло
3	4M1-10-4M1-10-4И	32 мм. Двухкамерный, воздух, i-стекло
4	4LG-10-4M1-10-4M	32 мм. Двухкамерный, воздух, мультифункциональным стеклопакетам
5	4M1-10Ar-4M1-10 Ar-4M1	32 мм. Двухкамерный, аргон
6	4M1-10 Ar-4M1-10 Ar-4K	32 мм. Двухкамерный, аргон, k-стекло
7	4M1-10 Ar-4M1-10 Ar-4И	32 мм. Двухкамерный, аргон, i-стекло
8	4M1-10Kr-4M1-10 Kr-4M1	32 мм. Двухкамерный, криптон
9	4M1-10 Kr-4M1-10 Kr-4K	32 мм. Двухкамерный, криптон, k-стекло
10	4M1-10 Kr-4M1-10 Kr-4И	32 мм. Двухкамерный, криптон, i-стекло

Определим приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока из алюминиевых профилей ГОСТ 21519-2022 по формуле (1). Данные расчета отразим в таблице 2. Далее произведем расчет потери тепловой энергии помещения на отопление и вентиляцию, по формулам (2-7), через рассматриваемые светопрозрачные конструкции за отопительный период.

Таблица 2

Результаты расчета по определению сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций и расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию помещения

№	Наименование фрагмента исследования	Общая площадь оконного блока, $F_0^{бл}, м^2$	Приведенное сопротивление теплопередаче, $R_{oi}^{пр}, \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$	Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию, $Q_{огр}^r, \frac{кВт \cdot ч}{год}$
0	Стеновое ограждение	6,24	1,606	-
1	4M1-10-4M1-10-4M1	4,38	0,5063	4276,55
2	4M1-10-4M1-10-4K	4,38	0,5588	4028,59
3	4M1-10-4M1-10-4И	4,38	0,6488	3690,92
4	4LG-10-4M1-10-4M	4,38	0,6746	3609,22
5	4M1-10Ar-4M1-10 Ar-4M1	4,38	0,5442	4093,15
6	4M1-10 Ar-4M1-10 Ar-4K	4,38	0,6085	3829,76
7	4M1-10 Ar-4M1-10 Ar-4И	4,38	0,7532	3394,96
8	4M1-10Kr-4M1-10 Kr-4M1	4,38	0,5662	3996,59
9	4M1-10 Kr-4M1-10 Kr-4K	4,38	0,7703	3353,82
10	4M1-10 Kr-4M1-10 Kr-4И	4,38	0,8258	3232,13

Назначим минимально требуемые значения приведенного сопротивления теплопередаче $R_{сп}^{тр} = 0,596, м^2 \cdot ^\circ C/Вт$ наружных ограждающих конструкций, принятые согласно [3, табл.3].

Выводы

Таким образом, величина приведенного сопротивления теплопередаче оконного блока в вариантах 1, 2, 5 и 8 не удовлетворяет минимальному требуемому значению приведенного сопротивления теплопередаче $R_{сп}^{тр} = 0,596 м^2 \cdot ^\circ C/Вт$.

Использование инертных газов (аргон и криптон) вместо осушенного воздуха снижает тепловые потери за счет их меньшей теплопроводности и большей кинематической вязкости. Даже со стандартным стеклом (M1) замена воздуха (Вариант 1 - 4276,55 Вт/(м²·°C)) на аргон (Вариант 5 - 4093,15 Вт/(м²·°C)) и криптон (Вариант 8 - 3996,59 Вт/(м²·°C)) приводит к планомерному снижению теплопотерь. Криптон как более тяжелый газ демонстрирует лучшие теплоизолирующие свойства по сравнению с аргоном.

Применение специальных стекол с покрытиями (энергосберегающих k- и i-стекол, мультифункциональных) является более эффективным методом снижения теплопотерь, чем просто замена газа, так как они блокируют уход теплового излучения из помещения. В воздушной среде твердое энергосберегающее покрытие (k-стекло, Вар. 2 - 4028,59 Вт/(м²·°C)) показывает меньшую эффективность по сравнению с мягким покрытием (i-стекло, Вар. 3 - 3690,92 Вт/(м²·°C)). Наилучший результат в среде без инертных газов показало мультифункциональное стекло (Вар. 4 - 3609,22 Вт/(м²·°C)).

Максимальное термическое сопротивление стеклопакета достигается путем одновременного подавления как конвективного/теплопроводного, так и радиационного (лучистого) теплообмена. Наихудший результат тепловых потерь показал базовый вариант 1 (обычное стекло + воздух) - 4276,55 Вт/(м²·°C). Наилучший и самый энергоэффективный результат тепловых потерь показал вариант 10 (i-стекло + криптон) - 3232,13 Вт/(м²·°C). Применение данной конструкции позволяет снизить общие теплопотери за отопительный период на ~24,4% по сравнению с базовым вариантом.

Библиографический список

1. Семенова Э. Е. Пути повышения энергоэффективности зданий /Э.Е. Семенова, М.Г. Самсонова, Э.А. Арутюнян, В.В. Пыхов // / Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2019. №2 (35). С.20-32.
2. Чехонадских А.А. Анализ проектирования зданий с применением энергосберегающих светопрозрачных конструкций / А.А. Чехонадских, Э.Е. Семенова // Научно-технический журнал. Высокие технологии в строительном комплексе. 2025. №2. С.29-32.
3. СП 50.13330.2024 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.– Введ.15.05.2024.- Москва: ОАО «НИЦ «Строительство», 2024 – 96 с.;
4. СП 131.13330.2025 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» - Введ. 09.09.2025.- Москва, 2025 - С. 245.
5. Турбина К.В. Анализ использования энергоэффективных строительных конструкций/ К.В. Турбина, Э.Е. Семенова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2021 №1 (43). С.30-35.
6. Тепловые потери в зданиях и сооружениях. – Текст: электронный // Studopedia.ru: информационно-справочный портал. – 2017. – URL: https://studopedia.ru/19_175400_patofiziologiya-regionarnogo.html (дата обращения: 19.04.2025).

References

1. Semenova E. E. Ways to Improve the Energy Efficiency of Buildings / E. E. Semenova, M. G. Samsonova, E. A. Arutyunyan, and V. V. Pykhov // Scientific Journal. Engineering Systems and Structures. 2019. No. 2 (35). Pp. 20-32.
2. Chekhonadskikh, A.A. Analysis of the Design of Buildings Using Energy-Saving Translucent Structures / A.A. Chekhonadskikh, E.E. Semenova // Scientific and Technical Journal. High Technologies in the Construction Complex. 2025. No. 2. Pp. 29-32.
3. SP 50.13330.2024 Thermal Protection of Buildings. Updated version of SNiP 23-02-2003. – Vved.15.05.2024.- Moscow: OAO NITs Stroitelstvo, 2024 – 96 p.;
4. SP 131.13330.2025 "SNiP 23-01-99* Building Climatology" - Vved. 09.09.2025.- Moscow, 2025 - P. 245.
5. Turina K.V. Analysis of the use of energy-efficient building structures/ K.V. Turina, E.E. Semenova // Scientific journal. Engineering systems and structures. 2021 No. 1 (43). P.30-35.
6. Thermal losses in buildings and structures. – Text: electronic // Studopedia.ru: information and reference portal. – 2017. – URL: https://studopedia.ru/19_175400_patofiziologiya-regionarnogo.html (accessed: 19.04.2025).

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 624.078.54

*Воронежский государственный
технический университет
Студент дорожно-транспортного
факультета Н.С. Ботовалкин
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (908) 121-58-93
e-mail: botovalkin2020@mail.ru
Студент дорожно-транспортного
факультета А.Е. Чернышов
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (900) 932-74-80
e-mail: alex.che.17@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов В.П. Волокитин
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов О.А. Волокитина
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов А.В. Андреев
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (951) 870-95-84
e-mail: aavturbo@yandex.ru*

*Voronezh State
Technical University
Student of the Faculty of Road Transport
N.S. Botovalkin
Russia, Voronezh, tel. +7 (908) 121-58-93
e-mail: botovalkin2020@mail.ru
Student of the Faculty of Road Transport
A.E. Chernyshov
Russia, Voronezh, tel. +7 (900) 932-74-80
e-mail: alex.che.17@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge V.P. Volokitin
Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge O.A. Volokitina
Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge A.V. Andreev
Russia, Voronezh, tel. +7 (951) 870-95-84
e-mail: aavturbo@yandex.ru*

Н.С. Ботовалкин, А.Е. Чернышов, В.П. Волокитин, О.А. Волокитина, А.В. Андреев

ПРИМЕНЕНИЕ РОЧ НА МОСТАХ В СЕЙСМОАКТИВНЫХ РАЙОНАХ

Мостовые сооружения в сейсмоактивных регионах нуждаются в повышенных мерах защиты от динамических нагрузок. Традиционные методы проектирования не всегда обеспечивают требуемую сейсмостойкость, поэтому перспективным решением становится применение резинометаллических опорных частей (РОЧ). Эти элементы эффективно гасят сейсмические колебания за счёт увеличения периода собственных колебаний конструкции, демпфирования энергии и контролируемого смещения пролётного строения с последующим возвратом в исходное положение.

Ключевые слова: РОЧ, сейсмостойкость, собственные колебания, рассеивание энергии, долговечность, зарубежный опыт, безопасность, специальные опорные части, снижение нагрузок, гашение колебаний.

USE OF RUBBER-METAL BEARINGS ON BRIDGES IN SEISMICALLY ACTIVE REGIONS

Bridge structures in seismically active regions require enhanced protection measures against dynamic loads. Traditional design methods do not always ensure the required seismic resistance, so the use of Rubber-Metal Bearings (RMBs) emerges as a promising solution. These components effectively dampen seismic vibrations by increasing the structure's natural vibration period, energy damping, and controlled displacement of the superstructure, followed by its return to the original position.

Keywords: RMB, seismic resistance, natural vibrations, energy dissipation, durability, international experience, safety, special rubber-metal bearings, load reduction, vibration damping.

Мостовые сооружения, расположенные в сейсмоактивных регионах, подвергаются значительным динамическим нагрузкам, способным привести к серьезным повреждениям или разрушениям. Обеспечение их безопасности и долговечности является приоритетной задачей современного мостостроения. Традиционные подходы к проектированию, основанные на жестком закреплении элементов конструкции, зачастую оказываются недостаточными при сильных землетрясениях, поскольку не позволяют эффективно рассеивать сейсмическую энергию. В таких условиях на первый план выходит применение Резинометаллических опорных частей (РОЧ) со специальными характеристиками, которые не только обеспечивают передачу статических нагрузок, но и активно участвуют в гашении сейсмических колебаний [1, 2].

Применение специальных РОЧ позволяет значительно повысить сейсмостойкость мостовых сооружений за счет увеличения периода собственных колебаний конструкции и эффективного демпфирования. Это приводит к снижению инерционных сил, действующих на элементы моста, и уменьшению вероятности возникновения резонансных явлений. Задача данной статьи – рассмотреть принципы работы, классификацию, особенности расчетов и практическое применение специальных РОЧ в мостовых сооружениях, расположенных в зонах повышенной сейсмичности, с акцентом на безопасность и надежность конструкции [3].

Специальные РОЧ для сеймоопасных районов классифицируются по нескольким признакам, включая конструктивное исполнение и принцип работы. Основными типами являются:

1) Резинометаллические опорные части с фрикционными элементами (ФРОЧ): Включают внутренние или внешние фрикционные диски, которые обеспечивают рассеивание энергии за счет трения при относительном смещении частей опоры. При достижении определенного уровня сдвигающего усилия фрикционный узел активируется, предотвращая передачу чрезмерных нагрузок на опоры моста [4].

2) Резинометаллические опорные части со свинцовыми или стальными сердечниками (СВС-РОЧ, СС-РОЧ): Эти опоры имеют центральный сердечник из свинца или стали, который значительно увеличивает демпфирующие свойства опоры. Свинец, благодаря своей пластичности и способности к значительному поглощению энергии при пластических деформациях, является эффективным материалом для сейсмоизоляции. Стальной сердечник обеспечивает повышенную жесткость в определенных направлениях [5].

3) Резинометаллические опорные части с высокими демпфирующими свойствами (ВД РОЧ): Используют специальные резиновые компаунды с высоким коэффициентом демпфирования, что позволяет рассеивать больше энергии по сравнению со стандартными РОЧ. Эти компаунды обладают усиленной вязкостью и способностью поглощать энергию при деформации, возвращая меньшую ее часть в систему [6].

РОЧС-К2 является одним из примеров современных РОЧ, разработанных для применения в условиях повышенной сейсмичности. Этот тип опор сочетает в себе свойства стандартных РОЧ и механизмов, обеспечивающих контролируемое смещение при сейсмических воздействиях, способствуя рассеиванию энергии землетрясения. Каталог РОЧС-К2 содержит подробные характеристики, включая допустимые нагрузки, деформационные возможности и демпфирующие свойства, что позволяет инженерам точно подбирать тип опоры под конкретные условия объекта [7].

Основной принцип работы специальных РОЧ в условиях сейсмических воздействий заключается в изоляции основной конструкции моста от прямого воздействия колебаний грунта. Это достигается за счет увеличения периода собственных колебаний, при которых мягкость резинового слоя РОЧ уменьшает жесткость опорной части моста, что приводит к увеличению его периода собственных колебаний. Если этот период становится значительно больше доминирующих периодов сейсмического воздействия, то инерционные силы, передаваемые на мост, существенно снижаются [8]. Также влияет демпфирование энергии: специальные резиновые смеси, а также дополнительные элементы, такие как свинцовые сердечники или фрикционные элементы, поглощают и рассеивают значительную часть сейсмической энергии. Это снижает амплитуду колебаний и уменьшает нагрузку на несущие конструкции моста. Энергия, рассеиваемая в таких опорах, преобразуется в тепло, предотвращая ее передачу в пролетное строение и опоры [3]. Помимо этого, играет важную роль контролируемое смещение: РОЧ позволяют пролетному строению моста совершать контролируемые горизонтальные смещения относительно опор при землетрясении. Это предотвращает возникновение чрезмерных напряжений в конструкции и защищает ее от пластических деформаций или разрушения. После окончания сейсмического воздействия, резиновый слой обеспечивает возврат пролетного строения в исходное положение [СП 35.13330.2011, п. 10.3.3].

Например, РОЧС-К2, как правило, имеют определенные характеристики по сдвиговой жесткости и демпфированию, которые обеспечиваются сочетанием резиновых слоев и металлических прокладок. При горизонтальных смещениях, вызванных землетрясением, резиновый слой деформируется, поглощая энергию, а его упругие свойства обеспечивают возвращение конструкции в исходное положение после снятия нагрузки. Такие опоры проектируются с учетом максимальных расчетных сейсмических смещений [7].

Пример каталога РОЧС-К2, в котором доступно сравнивают различные модели, представлен в таблице

Таблица

Технические характеристики оборудования

Тип РОЧ	Макс. верт. нагрузка (кН)	Макс. горизонтальное смещение (мм)	Вертикальная жесткость (кН/мм)	Горизонтальная жесткость (кН/мм)	Демпфирование (%)
РОЧС-К2.1	5000	±200	2500	0,5	15
РОЧС-К2.2	7500	±250	3500	0,7	17

Принципиальная схема работы РОЧС-К2 демонстрирует взаимодействие стальных пластин, резиновых слоев и, в некоторых модификациях, дополнительного демпфера, обеспечивающего эффективное рассеивание энергии.

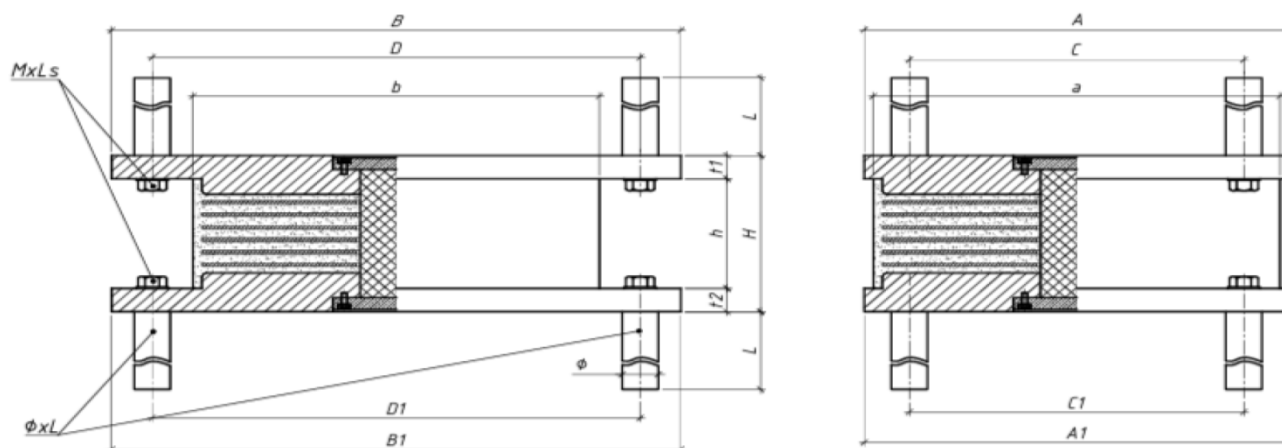


Рис. Общий вид РОЧС-К2

Применение специальных РОЧ в мостовых сооружениях, расположенных в зонах повышенной сейсмичности, таких как южная часть о. Сахалин, показывает значительное повышение уровня безопасности и надежности конструкций [9]. Исследования и практический опыт подтверждают следующие основные результаты:

1) Снижение сейсмических нагрузок: За счет увеличения периода колебаний и эффективного демпфирования, специальные РОЧ значительно уменьшают величину сейсмических сил, передаваемых на опоры и пролетное строение моста. Это позволяет избежать разрушения конструкций даже при сильных землетрясениях [10].

2) Защита от повреждений: Контролируемые смещения, обеспечиваемые РОЧ, предотвращают концентрацию напряжений и образование трещин в бетоне и металлоконструкциях мостовых элементов, что является одной из основных причин их разрушения при сейсмике [11].

3) Повышение долговечности: Применение РОЧ способствует сохранению целостности мостовых конструкций на протяжении всего срока службы, значительно снижая вероятность необходимости дорогостоящего ремонта после сейсмических событий. Это особенно актуально для регионов с высокой сейсмической активностью, где “Сахалинская сейсмология” постоянно фиксирует различные по интенсивности землетрясения [12].

4) Экономическая эффективность: Несмотря на первоначальные инвестиции в специальные РОЧ, их применение в долгосрочной перспективе оказывается экономически выгодным за счет снижения затрат на ремонт и восстановление мостов после землетрясений, а также за счет обеспечения непрерывности транспортного сообщения [13].

Исследования, проведенные на основе данных комплексных геофизических наблюдений в южной части о. Сахалин, показывают, что мостовые сооружения, оснащенные РОЧ с демпфирующими свойствами, демонстрируют значительно лучший отклик на сейсмические воздействия по сравнению с конструкциями, имеющими традиционные опорные части [14].

Выбор и расчет специальных РОЧ для мостовых сооружений в сейсмоопасных районах требуют особого подхода. Важно учитывать не только вертикальные и горизонтальные нагрузки в эксплуатационных условиях, но и динамические характеристики, возникающие при землетрясении.

Одним из ключевых аспектов является правильный выбор типа РОЧ. Например, в регионах с высокой вероятностью сильных землетрясений и длиннопериодических колебаний (как, например, в южной части о. Сахалин), СВС-РОЧ или ВД РОЧ могут быть предпочтительнее за счет их высоких демпфирующих характеристик. Для регионов с меньшей, но все же ощутимой сейсмичностью, ФРОЧ могут оказаться достаточными [15].

Особенный подход к расчетам включает использование нелинейных динамических методов анализа, учитывающих нелинейное поведение РОЧ при больших деформациях. В соответствии со СП 35.13330.2011 [п.10.3.3], при проектировании мостов в сейсмических районах необходимо выполнять расчеты с учетом горизонтальных сейсмических воздействий по двум расчетным предельным состояниям:

1) На прочность и устойчивость по нормальному функционированию при расчетном землетрясении средней интенсивности.

2) На несущую способность по предельному сейсмическому воздействию (максимальное расчетное землетрясение) с допущением ограниченных повреждений, не приводящих к обрушению.

При этом необходимо учитывать упругопластические характеристики РОЧ, их демпфирующие свойства и возможность больших горизонтальных смещений. Расчеты с использованием специализированных программных комплексов, таких как ANSYS, SAP2000 или Midas Civil, позволяют моделировать поведение моста и РОЧ при различных сейсмических сценариях [16].

Во многих странах, таких как Япония, США, Новая Зеландия, где также высока сейсмическая активность, применение сейсмоизолирующих опор, включая аналоги РОЧ, является стандартом проектирования для мостовых сооружений. Европейские нормы (Eurocode 8) также предписывают использование подобных решений. Зарубежный опыт подтверждает эффективность таких систем и демонстрирует постоянное развитие технологий, направленное на увеличение долговечности и надежности сейсмоизолирующих элементов [17]. Практика применения РОЧ в сейсмоопасных регионах подтверждает их эффективность: снижается уровень нагрузок на конструкции, повышается их долговечность и устойчивость к повреждениям. В долгосрочной перспективе это даёт экономическую выгоду — сокращаются затраты на ремонт, сохраняется бесперебойная работа транспортной инфраструктуры.

Выводы

Применение специальных резинометаллических опорных частей (РОЧ) является критически важным и эффективным решением для обеспечения безопасности и надежности мостовых сооружений, расположенных в зонах повышенной сейсмичности. РОЧ активно снижают сейсмические нагрузки, изолируя пролетное строение от интенсивных колебаний грунта и рассеивая значительную часть сейсмической энергии. Их использование позволяет увеличить период собственных колебаний моста и эффективно демпфировать энергию, что приводит к значительному уменьшению инерционных сил и предотвращению разрушительных резонансных явлений.

Разнообразие типов РОЧ, включая ФРОЧ, СВС-РОЧ и ВД РОЧ, а также примеры типа РОЧС-К2, позволяет инженерам подбирать оптимальные решения в зависимости от конкретных сейсмических условий и конструктивных особенностей объекта.

Особый подход к расчетам, основанный на нелинейных динамических методах и учете упруго-пластических характеристик РОЧ, является залогом их эффективного функционирования и долговечности.

Интеграция специальных РОЧ в проекты мостовых сооружений в сейсмоопасных регионах, как показывает российский и международный опыт, является не просто рекомендуемой, но и совершенно необходимой мерой для обеспечения высокого уровня безопасности, долговечности и функциональной готовности транспортной инфраструктуры в условиях экстремальных природных воздействий.

Таким образом выбор и расчёт РОЧ требуют комплексного подхода: необходимо учитывать сейсмическую активность региона, нормативные требования и результаты компьютерного моделирования. Отечественный и зарубежный опыт проектирования сейсмоизолирующих систем подтверждает целесообразность их применения в мостостроении. Таким образом, РОЧ – обоснованное решение для повышения безопасности и надёжности мостов в сейсмоопасных зонах.

Библиографический список

1. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*. – М.: Минрегион России, 2011.
2. ГОСТ 32020-2012. Опорные части резиновые для мостостроения. Технические условия – М.: Стандартинформ, 2014.
3. ОДМ 218.2.002-2008. Рекомендации по проектированию и установке полимерных опорных частей мостов – М.: Росавтодор, 2008.
4. Каталог “РОЧ с фрикционными элементами”. ООО “Мостовые конструкции”.
5. Справочник проектировщика мостов. Под ред. А.И. Медведкова. – М.: Транспорт, 1989.
6. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: Минстрой России, 2016.
7. Каталог продукции РОЧС-К2. ЗАО “Промстроймост”.
8. Инструкция по проектированию мостов и труб в сейсмических районах. – М.: Союздорнии, 1987.
9. Экспресс-оценка сейсмической опасности в южной части о. Сахалин на основе данных комплексных геофизических наблюдений в рамках действующего среднесрочного прогноза. – ДВО РАН, Южно-Сахалинск, 2018.
10. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. – М.: Стройиздат, 1982.
11. Сейсмостойкое строительство. Учебное пособие. Под ред. Е.И. Захаровой. – М.: Высшая школа, 2010.
12. Сахалинская сейсмология: Развитие и некоторые результаты. Публикация в сборнике научных трудов. – Южно-Сахалинск, 2019.
13. Методические рекомендации по расчету и проектированию мостовых сооружений на сейсмические воздействия. – М.: ЦНИИС, 2005.
14. Исследования динамического отклика мостовых конструкций в условиях сейсмической активности. Журнал “Транспортное строительство”, №8, 2017.
15. Сейсмоизоляция и демпфирование сооружений. Учебник. А.А. Медведев, В.П. Абросимов. – М.: АСВ, 2015.
16. FEMA 450. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. – Building Seismic Safety Council, Washington D.C., 2004.
17. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. – European Committee for Standardization, 2004.

References

1. SP 35.13330.2011. Bridges and Culverts. Updated Version of SNiP 2.05.03-84*. — Moscow: Ministry of Regional Development of the Russian Federation, 2011.
2. GOST 32020-2012. Rubber Bearings for Bridge Construction. Technical Specifications. Moscow: Standartinform, 2014.
3. ODM 218.2.002-2008. Guidelines for Design and Installation of Polymer Bridge Bearings. Moscow: Rosavtodor, 2008.

4. Catalogue “Friction-Type Rubber-Metal Bearings”. LLC “Bridge Structures”.
5. Bridge Designer’s Handbook. Edited by A.I. Medvedkov. — Moscow: Transport, 1989.
6. SP 20.13330.2016. Loads and Actions. Updated Version of SNiP 2.01.07-85*. — Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation, 2016.
7. Product Catalogue of RChS-K2 Bearings. JSC “Promstroykost”.
8. Design Guidelines for Bridges and Culverts in Seismic Areas. — Moscow: Soyuzdornii, 1987.
9. Rapid Assessment of Seismic Hazard in the Southern Part of Sakhalin Island Based on Comprehensive Geophysical Observations within the Framework of the Current Medium-Term Forecast. — FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, 2018.
10. SNiP II-7-81*. Construction in Seismic Areas. — Moscow: Stroyizdat, 1982.
11. Seismic-Resistant Construction. Training Manual. Edited by E.I. Zakharova. — Moscow: Vysshaya Shkola (Higher School), 2010.
12. Sakhalin Seismology: Development and Some Results. Publication in a Collection of Scientific Papers. — Yuzhno-Sakhalinsk, 2019.
13. Methodological Recommendations on Calculation and Design of Bridge Structures for Seismic Actions. — Moscow: TsNIIS, 2005.
14. Research on the Dynamic Response of Bridge Structures Under Seismic Activity. Journal “Transport Construction”, No. 8, 2017.
15. Seismic Isolation and Damping of Structures. Textbook. By A.A. Medvedev, V.P. Abrosimov. — Moscow: ASV, 2015.
16. FEMA 450. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. — Building Seismic Safety Council, Washington D.C., 2004.
17. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. – European Committee for Standardization, 2004.

*Воронежский государственный
технический университет*

Канд. техн. наук, доцент

О.А. Волокитина;

Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-349-72-56

e-mail: dixi.o@mail.ru

*Студент 4 курса Дорожно-транспортного
факультета*

Д.Р. Бахметьев

Россия, г. Воронеж, тел. +7(930) 420-06-64

e-mail: bakhmetev-danil@mail.ru

*Студент 4 курса Дорожно-транспортного
факультета*

В.А. Гелунов

Россия, г. Воронеж, тел. +7(930) 406-79-15

e-mail: gelunov36@gmail.com

Voronezh State

Technical University

Cand. Of Tech. Science, Associate prof.

O.A. Volokitina;

Russia, Voronezh, tel. +7-910-349-72-56

e-mail: dixi.o@mail.ru

*Fourth year student of the Faculty of Roads and
Transport*

D.R. Bakhmetev

Russia, Voronezh, tel. +7(930) 420-06-64

e-mail: bakhmetev-danil@mail.ru

*Fourth year student of the Faculty of Roads
and Transport*

V.A. Gelunov

Russia, Voronezh, tel. +7(930) 406-79-15

e-mail: gelunov36@gmail.com

О.А. Волокитина, Д.Р. Бахметьев, В.А. Гелунов

ЖИДКИЙ ГРАНИТ: СОВРЕМЕННЫЙ КОМПОЗИТНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ДИЗАЙНА

В статье рассматриваются современные методы применения жидкого гранита для создания функциональных и эстетически выразительных элементов интерьера и экстерьера.

Ключевые слова: жидкий гранит, полимерные смолы, инновационный материал, spray granit, solid surface, полимеризация.

O.A. Volokitina, D.R. Bakhmetev, V.A. Gelunov

LIQUID GRANITE: A MODERN COMPOSITE MATERIAL FOR CONSTRUCTION AND DESIGN

The article discusses modern methods of using liquid granite to create functional and aesthetically expressive interior and exterior elements.

Keywords: Liquid granite, polymer resins, innovative material, spray granit, solid surface, polymerization.

Жидкий гранит – инновационный композитный материал, сочетающий эстетику натурального камня с технологичностью современных полимеров. Он активно используется в строительстве, отделке и дизайне интерьеров.

Жидкий гранит – это композитный материал на основе полимерных смол (акриловых, эпоксидных или полиэфирных) и минеральных наполнителей с добавлением красящих пигментов. В жидком состоянии его можно заливать в формы или наносить на поверхности, а после полимеризации он приобретает прочность и текстуру, схожую с натуральным гранитом.

Основные компоненты жидкого гранита:

Полимерная смола (15–25%): служит связующим веществом, обеспечивает пластичность в жидком состоянии и прочность после затвердевания. Используются акриловые, эпоксидные или полиэфирные смолы.

Минеральные наполнители (70–80%): мелкозернистый кварцевый песок, оксид алюминия, гипс или стеклянные крошки. Обеспечивают плотность, прочность и имитируют текстуру натурального камня.

Пигменты (до 5 %): придают материалу нужный цвет, позволяют создавать градиенты и имитировать рисунок природного гранита.

Отвердители и стабилизаторы: запускают процесс полимеризации и предотвращают расслоение компонентов.

Существуют две основные технологии изготовления изделий из жидкого гранита:

Spray Granit:

Смесь распыляют на нагретую форму под давлением, каждый слой сушат до полуготовности, чтобы предотвратить смешение цветов. После нанесения всех слоёв изделие помещают в печь для полной полимеризации. Такая технология позволяет создавать динамичные рисунки, имитирующие натуральный гранит.



Рис. Технология нанесения жидкого гранита путем распыления смеси на нагретую форму под давлением

Solid Surface:

Однородную массу заливают в форму и помещают в вакуумную камеру для удаления воздушных пузырьков, полимеризация происходит в автоклаве при температуре 140–160 °С и давлении 6–8 атмосфер в течение 3–5 часов. Такой метод даёт однородную структуру, упрощает обработку и ремонт изделий.

Этапы производства: подготовка смеси – смешивание смолы и наполнителей до однородной консистенции, добавление пигментов и отвердителей, вакуумирование – удаление воздушных пузырьков для исключения дефектов, заливка или нанесение на форму/поверхность, полимеризация – затвердевание в автоклаве или при комнатной температуре, обработка – шлифовка, полировка, резка алмазными инструментами.

Технические характеристики: прочность на сжатие – 50–80 МПа, устойчивость к температурам – выдерживает перепады от -40 °С до +100 °С, водопоглощение – низкое (не впитывает влагу), износостойкость – высокая, подходит для мест с высокой проходимостью, ремонтпригодность – повреждённые участки можно восстановить нанесением нового слоя, срок службы – до 25 лет при правильном уходе.

Жидкий гранит обладает множеством преимуществ: отличается гибкостью применения – его можно наносить на поверхности любой формы и размера, при этом он эстетичен, поскольку имитирует текстуру натурального гранита и представлен в широкой палитре цветов и оттенков. Материал прочен и долговечен: устойчив к механическим повреждениям, влаге, УФ излучению и перепадам температур. Кроме того, жидкий гранит гигиеничен — не впитывает жидкости и не подвержен образованию плесени и грибка, а также лёгок в уходе, поскольку не требует специальных средств и устойчив к моющим составам. Его универсальность позволяет использовать материал как в интерьере, так и в экстерьере, а технология нанесения обеспечивает минимизацию отходов – состав наносится точно, без необходимости резки крупных плит. Ещё одно важное преимущество – негорючесть, благодаря которой жидкий гранит можно безопасно применять для оформления элементов каминов.

Среди недостатков жидкого гранита можно выделить прежде всего его стоимость: она выше, чем у керамики, хотя и ниже, чем у натурального камня. Кроме того, материал имеет ряд ограничений в эксплуатации – например, не рекомендуется лить кипяток в мойки из жидкого гранита, а на столешницы нельзя ставить горячую посуду без подставок. При чистке таких поверхностей также нельзя использовать абразивные средства. Ещё один существенный минус – при сильном нагреве входящие в состав смолы могут выделять летучие соединения.

Жидкий гранит используют в самых разных сферах: для изготовления столешниц для кухонь и ванных комнат, а также ванн и раковин – благодаря его влагостойкости и гладкости поверхности. Материал подходит для отделки стен и полов в жилых и общественных помещениях, а за счёт высокой износостойкости его применяют при обустройстве лестниц и ступеней. Гибкость жидкого гранита позволяет создавать декоративные колонны и арки, а также воплощать нестандартные идеи в виде арт объектов и скульптур. Кроме того, этот материал задействуют при реставрации исторических фасадов и архитектурных элементов, используют в промышленности – например, для обустройства покрытий с высокой нагрузкой: полов цехов и лестниц. Из-за негорючести жидкий гранит подходит для изготовления элементов каминов, а ещё он широко применяется в производстве мебели и аксессуаров – таких как столы, барные стойки и подоконники.

Жидкий гранит – это перспективный материал, который сочетает красоту натурального камня и функциональность современных композитов. Его гибкость, прочность и эстетические качества делают его востребованным в архитектуре, дизайне интерьеров и промышленности. Благодаря возможности ремонта и долговечности он становится выгодной альтернативой традиционным материалам.

Библиографический список

1. Иванов А.В., Петрова С.Л. Композитные материалы на основе полимерных смол: современные тенденции и перспективы применения // Строительные материалы. – 2022. – № 5. – С. 45–52.
2. [Электронный ресурс] <http://www.buildmaterials.info/zhidkiy-granit-svoystva>.

References

1. Ivanov A.V., Petrova S.L. Composite Materials Based on Polymer Resins: Current Trends and Application Prospects // Construction Materials. – 2022. – No. 5. – Pp. 45–52.
2. [Electronic resource] - <http://www.buildmaterials.info/zhidkiy-granit-svoystva>.

*Воронежский государственный
технический университет*

Канд. техн. наук, доцент

О.А. Волокитина;

Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-349-72-56

e-mail: dixi.o@mail.ru

*Студент 4 курса Дорожно-транспортного
факультета*

Д.Р. Бахметьев

Россия, г. Воронеж, тел. +7(930) 420-06-64

e-mail: bakhmetev-danil@mail.ru

*Студент 4 курса Дорожно-транспортного
факультета*

В.А. Гелунов

Россия, г. Воронеж, тел. +7(930) 406-79-15

e-mail: gelunov36@gmail.com

Voronezh State

Technical University

Cand. Of Tech. Science, Associate prof.

O.A. Volokitina;

Russia, Voronezh, tel. +7-910-349-72-56

e-mail: dixi.o@mail.ru

*Fourth year student of the Faculty of Roads and
Transport*

D.R. Bakhmetev

Russia, Voronezh, tel. +7(930) 420-06-64

e-mail: bakhmetev-danil@mail.ru

*Fourth year student of the Faculty of Roads
and Transport*

V.A. Gelunov

Russia, Voronezh, tel. +7(930) 406-79-15

e-mail: gelunov36@gmail.com

О.А. Волокитина, Д.Р. Бахметьев, В.А. Гелунов

ПОЛУПРОЗРАЧНЫЙ БЕТОН: ИННОВАЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ДИЗАЙНЕ

В статье рассматриваются современные методы применения полупрозрачного бетона для реализации инновационных решений в строительстве.

Ключевые слова: полупрозрачный бетон, оптические волокна, инновационный материал, декоративный эффект.

O.A. Volokitina, D.R. Bakhmetev, V.A. Gelunov

TRANSPARENT CONCRETE: AN INNOVATIVE MATERIAL IN CONSTRUCTION AND DESIGN

The article discusses modern methods of using translucent concrete to implement innovative solutions in construction.

Keywords: translucent concrete, optical fibers, innovative material, and decorative effect.

Полупрозрачный (светопропускающий) бетон – это современный строительный материал, который сочетает прочность традиционного бетона со способностью пропускать свет. Он открывает новые возможности для архитекторов и дизайнеров.

Основу материала составляет мелкозернистый бетон (около 95% массы). В него добавляют светопроводящие элементы – обычно оптические волокна (~5% от общей массы смеси).

Процесс изготовления включает несколько этапов: замес мелкозернистой бетонной смеси в традиционном бетоносмесителе принудительного действия, добавление оптических волокон в процессе замеса (благодаря малому размеру волокна равномерно распределяются по всему объёму, создавая однородную структуру), литьё смеси в формы для получения блоков или плит, а также разрезание затвердевшего бетона на изделия нужного размера с помощью стандартного оборудования для резки каменных материалов.

Оптические волокна проходят через весь объект, позволяя свету перемещаться от одной поверхности к другой. При этом световая информация передаётся без искажений: можно увидеть чёткое изображение тени, а цвет проходящего света остаётся таким же, как при взаимодействии с матовым стеклом.

Технические характеристики

Полупрозрачный бетон сохраняет ключевые свойства обычного бетона и приобретает дополнительные преимущества:

Прочность. Материал демонстрирует высокую прочность на сжатие и изгиб, что позволяет использовать его в несущих конструкциях.

Теплоизоляция. Показатели теплоизоляции сопоставимы с традиционными бетонными составами.

Шумопоглощение. Эффективно снижает уровень шума, что делает материал подходящим для городских объектов.

Водостойкость. Обладает высокой степенью водостойкости, пригоден для различных климатических условий.

Морозостойкость. Сохраняет свойства при низких температурах.

Светопропускание. Даже в изделиях толщиной 50 см сохраняется заметная светопропускная способность. Теоретически стена из полупрозрачного бетона может пропускать свет при толщине до 20 метров.

Вес. Соответствует весу традиционных бетонных изделий, что требует использования грузоподъёмной техники при монтаже.

Стоит отметить, что светопропускание составляет около 2% падающего света (при 5% содержания волокон). Это связано с изгибами волокон и шероховатостями на срезанных поверхностях. Тем не менее, благодаря нелинейной реакции человеческого глаза на свет, такой уровень обеспечивает полезное дневное освещение.

Преимущества и недостатки

Преимущества:

- Уникальный декоративный эффект: создаёт интересные световые рисунки и тени.
- Универсальность: подходит для фасадов, внутренних стен, декоративных элементов и светильников.
- Сохранение основных строительных свойств бетона (прочность, долговечность).
- Возможность создания изделий любых типоразмеров.
- Энергоэффективность: снижает потребность в искусственном освещении днём.

Недостатки:

- Высокая стоимость производства из-за использования оптических волокон.
- Сложности применения в конструкциях сложной геометрии (лестничные ступени, колонны и т. д.).
- Не подходит для создания особо надёжных железобетонных конструкций.



Рис. Светильник из полупрозрачного бетона

Полупрозрачный бетон используют там, где важны эстетика и игра со светом: в фасадах зданий – он создаёт эффектные световые акценты и позволяет регулировать освещение внутри помещений; во внутренних перегородках и стенах – добавляет пространству лёгкости и воздушности, пропускает свет между комнатами; в декоративных панелях – используется для отделки стен в интерьерах ресторанов, отелей, офисов; в мебели и светильниках – из него изготавливают столы, скамейки, лампы с оригинальным дизайном; в ландшафтном дизайне – применяется для создания подсвеченных ограждений, бордюров, малых архитектурных форм; а также в арт объектах и инсталляциях – позволяет реализовать смелые творческие идеи в современном искусстве.

Полупрозрачный бетон – это не просто строительный материал, а инструмент для творчества. Он меняет представление о бетоне как о чём-то массивном и непрозрачном, превращая его в элемент современного дизайна. Сочетание функциональности и эстетики делает его перспективным решением для архитектуры будущего

Библиографический список

1. Югов А.М., Мусорина Т.А., Соколов Б.В., Агишев К.Н. Прозрачный бетон в строительстве зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 11 (38). – С. 1-14.
2. [Электронный ресурс] <http://stroy-masterden.ru/chto-takoe-prozrachnyij-beton.html>.

References

1. Yugov A.M., Musorina T.A., Sokolov B.V., Agishev K.N. Transparent Concrete in the Construction of Buildings and Structures // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2015. – No. 11 (38). – Pp. 1-14.
2. [Electronic resource] - <http://stroy-masterden.ru/chto-takoe-prozrachnyij-beton.html>.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

УДК 622.691.4

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доцент кафедры
теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Д.Н. Китаев
Россия, г. Воронеж, тел. +7(960)100-88-01
e-mail: dkitaev@cchegeu.ru*

*Voronezh State
Technical University
Ph.D. (Engineerin), Assoc Prof. of the Dep.
of Heat and Gas Supply and Oil and Gas
Business D.N. Kitaev
Russia, Voronezh, tel. +7(960)100-88-01
e-mail: : dkitaev@cchegeu.ru*

Д.Н. Китаев

УРАВНЕНИЕ ДЛЯ ПЕРВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОЧКИ РОСЫ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПО ВОДЕ УПРОЩЕННЫМ МЕТОДОМ

Представлен анализ уравнения, рекомендуемого к использованию в качестве первого приближения при реализации итерационного цикла, необходимого для вычисления температуры точки росы природного газа по упрощенному методу, обоснована его низкая точность. Предложено более точное уравнение, пригодное для проведения ручных расчетов, представлены выражения, позволяющие определить диапазон нахождения искомой величины при реализации вычислительной процедуры.

Ключевые слова: природный газ; физические свойства; газопроводы; температура точки росы; метод расчета.

D.N. Kitaev

EQUATION FOR A FIRST APPROXIMATION IN CALCULATING THE DEW POINT TEMPERATURE OF NATURAL GAS FOR WATER BY A SIMPLIFIED METHOD

This paper presents an analysis of the equation recommended for use as a first approximation when implementing the iterative cycle required to calculate the dew point temperature of natural gas using a simplified method. Its low accuracy is substantiated. A more accurate equation suitable for manual calculations is proposed, and expressions are presented to determine the range of the desired value when implementing the computational procedure.

Keywords: natural gas; physical properties; gas pipelines; dew point temperature; calculation method.

Одной из проблем эксплуатации газопроводов является конденсация водяных паров, содержащихся в природном газе, способствующая коррозии трубопроводов, снижению пропускной способности вследствие замерзания жидкости и поломкам оборудования[1,2]. Конденсация происходит при понижении температуры ниже точки росы, зависящей преимущественно от концентрации влаги и давления[3,4]. По причине недостаточной осушки газа на

установках подготовки, отрицательных температур наружного воздуха, изменения скоростных режимов движения потока, дросселирования в городских сетях и др., может происходить конденсация водяных паров[5,6]. Полученные на практике косвенными измерениями значения температуры точки росы по воде $t_{TP\phi}$, как правило ниже истинной температуры, и необходимо применять расчетные методы. Действующий ГОСТ 34807—2021 устанавливает два метода расчета $t_{TP\phi}$ по воде и массовой концентрации водяных паров (МКВП) (детальный и упрощенный) для углеводородных газов различного назначения, в том числе и транспортируемого по магистральным газопроводам и системам газораспределения. Упрощенный метод применяется при давлениях газа 0,1÷12,5 МПа, молярной доли метана не менее 95%, температурах точки росы от –50 до 50 °С, он более прост в реализации по сравнению с детальным, учитывающим компонентный состав.

Выражение для расчета массовой концентрации водяных паров в природном газе $\beta_{расч}$, мг/м³ при давлении p , температуре T , универсальной газовой постоянной R , имеет вид

$$\beta_{расч} = 750313 \frac{p_{в}^{нас}}{p\phi_{г}} \exp \left(\frac{1000 \sum_{k=0}^4 c_k T^k (p - p_{в}^{нас})}{RT} \right), \quad (1)$$

где $p_{в}^{нас}$ – давление насыщения, МПа конденсированной фазы, находящейся в равновесии с природным газом, вычисляемое по формуле

$$p_{в}^{нас} = \exp \left(4,115 \ln \left(\frac{1}{T} \right) - \frac{6644,48}{T} - 1348,4810^{-6} T + 54,1945 \right) 10^{-6}; \quad (2)$$

где $\phi_{г}$ – коэффициент фугитивности водяных паров, находящихся в природном газе, определяемый по формуле

$$\phi_{г} = \left(\exp \left(p \sum_{k=0}^4 a_k T^k + p^2 \sum_{k=0}^4 b_k T^k \right) \right)^{-1}; \quad (3)$$

где a_k, b_k, c_k – справочные коэффициенты ГОСТ 34807—2021.

Исходными данными для расчета являются измеренная массовая концентрация водяных паров β , мг/м³ при давлении p , МПа. Решается уравнение вида $\beta - \beta_{расч} = 0$ с заданной точностью $|\beta_{расч}^{(k+1)} / \beta - 1| \leq 10^{-3}$ при достижении которой на шаге итерации $k+1$, входящая в уравнения (1)–(3) температура является искомой величиной $t_{TP\phi}$. В качестве первого приближения ГОСТ 34807—2021 рекомендует уравнение вида

$$t_{TP\phi 0} = \frac{67p - 5320}{\ln \beta - 25,688 + 0,345p} - 273,15. \quad (4)$$

Были определены значения $t_{TP\phi}$ при реализации итерационного метода в диапазоне давлений от 0,1 до 20 МПа с точностью 0,0001 для $\beta = 500$ мг/м³ (рис. 1)[7].

Температура точки росы, рассчитанная по уравнению первого приближения (4), в диапазоне давлений от 0,1 до 20 МПа (включительно) при $\beta = 500$ мг/м³ имеет значения от –20,72 до –5,86 °С, а истинные значения находятся в диапазоне от –43,49 до 5,48 °С.

Из рисунка 1 видно, что в рассматриваемом диапазоне давлений кривые имеют пересечение в двух точках. Как показали расчеты, пересечение функций происходит в двух точках с координатами $p = 1,0666$ МПа, $t_{TP\phi} = 1,564$ °С и $p = 17,996$ МПа, $t_{TP\phi} = 37,015$ °С. При значениях меньших 1,0666 МПа точность уравнения (4) уменьшаться и максимальная разница будет наблюдаться при давлении 0,1 МПа и составит 27,39 °С. В диапазоне давлений $1,0666 < p < 17,996$ МПа максимальная разница результатов составляет 16,092 °С при $p = 6,921$ МПа.

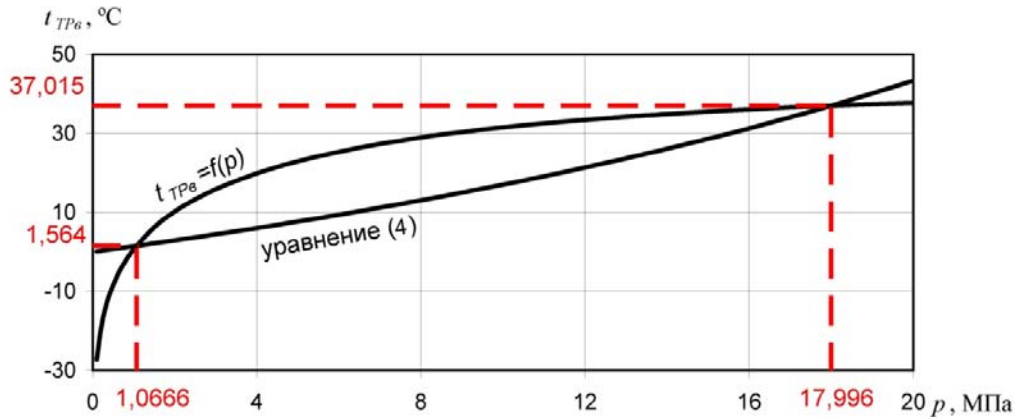


Рис. 1. Результаты расчетов значений t_{TP6} при $\beta = 500 \text{ мг/м}^3$

При вычислении искомой температуры с понижением давления возрастает число итераций, например при $\beta = 100 \text{ мг/м}^3$, $p = 7 \text{ МПа}$ до достижения заданной точности их количество составит 14. Возникает вопрос о целесообразности применения уравнения (4) в качестве первого приближения при проведении ручных расчетов для всего диапазона параметров.

Для диапазона применимости упрощенного метода ($-50 \leq t_{TP6} \leq 50^\circ\text{C}$) были найдены значения МКВП β и давлений p , при которых первое приближение (4) является истинной температурой точки росы с нормативной точностью: $t_{TP6} = -50^\circ\text{C}$, $\beta = 6,104 \text{ мг/м}^3$, $p = 0,86383 \text{ МПа}$; $t_{TP6} = 50^\circ\text{C}$, $\beta = 8712,3 \text{ мг/м}^3$, $p = 1,108253 \text{ МПа}$. Для диапазона $5 \leq \beta < 8712,3 \text{ мг/м}^3$ было получено приближенное уравнение, позволяющее определить значение температуры точки росы по воде t_{TP60}

$$t_{TP60} = (1,5288 \ln \beta + 3,5131) \ln p + 13,467 \ln \beta - 79,539. \quad (5)$$

На рисунке 2 представлены графики зависимости истинных значений t_{TP6} от давления при $\beta = 5, 200, 1000$ и $8712,3 \text{ мг/м}^3$, и построенные по уравнениям (4), (5).

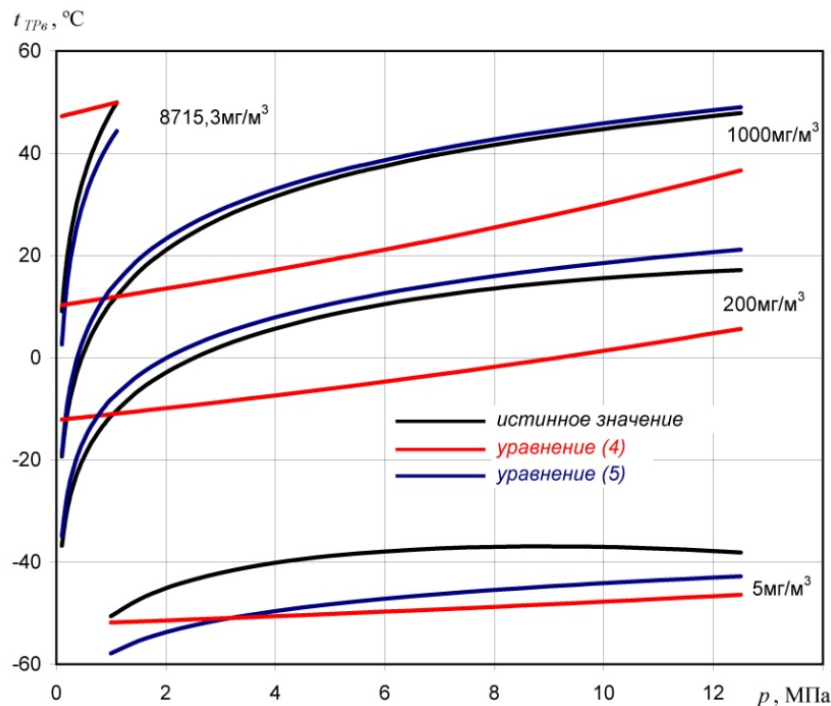


Рис. 2. Графики зависимостей $t_{TP6} = f(\beta)$ и $p = f(\beta)$

Как видно из рис. 2, результаты расчета по уравнению (5) намного ближе к истинным значениям, чем по (4). На рисунке 3 представлены значения средней абсолютной разницы $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |t_{TPei} - \bar{t}_{TPei}|$ и максимальное значение $|t_{TPei} - \bar{t}_{TPei}|_{\max}$ для уравнений (5) и (4) для рассматриваемых диапазонов изменения значений p и β .

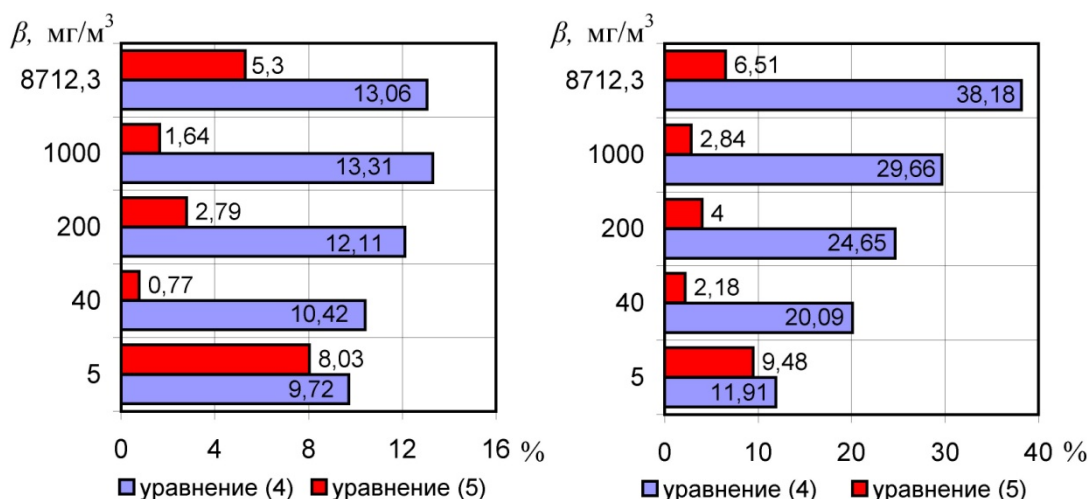


Рис. 3. Средняя и максимальная абсолютная разницы результатов уравнений (5) и (4)

Из результатов расчетов следует, что значения температуры точки росы по воде, полученные по уравнению (5) позволяют получать более близкие результаты к истинным, чем по уравнению (4). Наибольшее отклонение наблюдается на концах интервала. В диапазоне давлений от 0,1 до 12,5 МПа и массовой концентрации водяных паров от 5 до 8712,3 мг/м³ среднее значение абсолютной разницы истинных значений и результатов, полученных по формуле (4) составляет 12,36 °С, а по формуле (5) 2,47 °С.

При реализации вычислительного алгоритма определения температуры точки росы по воде необходимо задавать границы диапазона возможных значений. При использовании уравнения (5) в качестве первого приближения границы диапазона Δ в зависимости от значений β , мг/м³ могут быть определены по формулам

$$5 \leq \beta \leq 30 \text{ мг/м}^3, \Delta = \pm(16,4 - 4,2768 \ln \beta), \quad (6)$$

$$30 < \beta \leq 200 \text{ мг/м}^3, \Delta = \pm(0,67 + 0,04535(\beta + 2) - 144 \cdot 10^{-6}), \quad (7)$$

$$200 \leq \beta \leq 2000 \text{ мг/м}^3, \Delta = \pm(4,3 - 0,00144\beta), \quad (8)$$

$$2000 \leq \beta \leq 8712,3 \text{ мг/м}^3, \Delta = \pm(1,139 \cdot 10^{-3} \beta - 3,4527 \cdot 10^{-8} \beta^2 - 0,75). \quad (9)$$

Выводы

Уравнение, рекомендуемое в качестве первого приближения для расчета температуры точки росы по воде упрощенным методом, в диапазоне применения методики имеет не большую точность, составляющую в среднем 12,36 °С. Наибольшая точность уравнения наблюдается только в диапазонах давлений $(1 \pm 0,2)$ МПа, а наименьшая при малых давлениях.

Предложено уравнение более точное, чем рекомендуемое ГОСТ в качестве первого приближения для вычисления температуры точки росы по воде упрощенным методом, позволяющее сократить объем вычислений. Предложены уравнения, позволяющие определить границы диапазона нахождения искомого значения t_{TPe} в итерационном цикле.

Библиографический список

1. Целесообразность и перспективы внедрения энергосберегающих инноваций в эксплуатационной сфере объектов инфраструктуры / О. А. Куцыгина, Д. В. Ельшин, О. В. Елагин, Г. Н. Галицын // Социально-экономические проблемы развития предприятий и регионов : сборник статей XX Международной научно-практической конференции, Пенза, 29–30 июня 2016 года / Под редакцией Г.А. Резник. – Пенза: Автономная некоммерческая научно-методическая организация «Приволжский Дом знаний», 2016. – С. 56-63.
2. Анализ низкотемпературной сепарации для осушки газа в магистральных трубопроводах / С. Г. Тульская, М. Я. Панов, А. А. Долгих, С. Н. Кузнецов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2021. – № 2(23). – С. 12-19.
3. Волох, А. С. Причины возникновения аварий при эксплуатации магистральных газопроводов / А. С. Волох, З. С. Гасанов, С. Г. Тульская // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2022. – № 4(29). – С. 23-28.
4. Куцыгина, О. А. Управление затратами на предприятиях : Учебное пособие / О. А. Куцыгина. – Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2001. – 84 с. – ISBN 5-89040-072-х.
5. Механизм управления затратами на топливно-энергетические ресурсы в процессе эксплуатации объектов городской инфраструктуры / О. Куцыгина, А. Чугунов, М. Агафонова, И. Серебрякова // Энергетическое управление муниципальными объектами и устойчивые энергетические технологии: сборник трудов по материалам XXI Международной научной конференции, Воронеж, 28–30 ноября 2019 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2020. – С. 41-51.
6. Китаев, Д. Н. Расчет коэффициента сжимаемости природного газа в системах коммунального газоснабжения / Д. Н. Китаев, О. А. Куцыгина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 35-42. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.004.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024664650 Российская Федерация. Программа расчета температуры точки росы природного газа по воде и массовой концентрации водяных паров упрощенным методом: № 2024663711 : заявл. 17.06.2024 : опубл. 21.06.2024 / Д. Н. Китаев, Е. В. Иевлева; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный технический университет".

References

1. Feasibility and Prospects for Implementing Energy-Saving Innovations in the Operational Sphere of Infrastructure Facilities / O. A. Kutsygina, D. V. Elshin, O. V. Elagin, G. N. Galitsyn // Socio-economic Problems of Enterprise and Regional Development: Collection of Articles from the XX International Scientific and Practical Conference, Penza, June 29–30, 2016 / Edited by G. A. Reznik. – Penza: Autonomous Non-Commercial Scientific and Methodological Organization “Volga House of Knowledge”, 2016. – Pp. 56–63.
2. Analysis of low-temperature separation for gas drying in main pipelines / S. G. Tulskeya, M. Ya. Panov, A. A. Dolgikh, S. N. Kuznetsov // Urban development. Infrastructure. Communications. - 2021. - No. 2 (23). - P. 12-19.
3. Volokh, A. S. Causes of accidents during the operation of main gas pipelines / A. S. Volokh, Z. S. Gasanov, S. G. Tulskeya // Urban development. Infrastructure. Communications. - 2022. - No. 4 (29). - P. 23-28.

4. Kutsygina, O. A. Cost Management at Enterprises: A Textbook / O. A. Kutsygina. – Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, 2001. – 84 p. – ISBN 5-89040-072-x.

5. Mechanism for managing the costs of fuel and energy resources in the process of operation of urban infrastructure facilities / O. Kutsygina, A. Chugunov, M. Agafonova, I. Serebryakova // Energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies: collection of papers based on the materials of the XXI International Scientific Conference, Voronezh, November 28–30, 2019. – Voronezh: Voronezh State Technical University, 2020. – Pp. 41–51.

6. Kitaev, D. N. Calculation of the compressibility coefficient of natural gas in municipal gas supply systems / D. N. Kitaev, O. A. Kutsygina // Housing and municipal infrastructure. – 2024. – No. 4(31). – Pp. 35–42. – DOI 10.36622/2541-9110.2024.31.4.004.

7. Certificate of State Registration of Computer Program No. 2024664650 Russian Federation. Program for Calculating the Dew Point Temperature of Natural Gas Based on Water and the Mass Concentration of Water Vapor Using a Simplified Method: No. 2024663711: declared 17.06.2024: published 21.06.2024 / D. N. Kitaev, E. V. Ievleva; applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Technical University".

*Воронежский государственный
технический университет
Старший преподаватель кафедры
жилищно-коммунального хозяйства
Д.В. Лобанов
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: ldv-36@mail.ru
студенты группы бСТР-2313 кафедры
жилищно-коммунального хозяйства
О.М. Мартыненко
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: fggbhvbhbbff@gmail.com
О.В. Матюнина
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: olya.shishlova.05@mail.ru
П.С. Пигарев
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: pigarevp5@gmail.com
И.А. Кириченко
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: darkvaeder98895@gmail.com*

*Voronezh State
Technical University
Senior lecturer of the department of housing
and communal services
D.V. Lobanov
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: ldv-36@mail.ru
students of the bSTR-2313 group of the De-
partment of Housing and Communal Services
O.M. Martynenko
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: fggbhvbhbbff@gmail.com
O.V. Matyunina
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: olya.shishlova.05@mail.ru
P.S. Pigarev
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: pigarevp5@gmail.com
I.A. Kirichenko
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: darkvaeder98895@gmail.com*

Д.В. Лобанов, О.М. Мартыненко, О.В. Матюнина, П.С. Пигарев, И.А. Кириченко

САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЧИСТКИ И ДЕЗИНФЕКЦИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ В ЗДАНИЯХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье рассматриваются актуальные проблемы эксплуатации систем вентиляции в зданиях различного назначения. Анализируются негативные последствия загрязнения воздуховодов: снижение аэродинамической эффективности, увеличение энергопотребления, повышение пожарных рисков и другие. Выполнен расчет экономической эффективности очистки систем вентиляции, показывающий годовую экономию электроэнергии при снижении аэродинамического сопротивления вентиляционной сети. Предложено конструктивное решение по установке фильтрующего материала в зоне диффузоров для снижения загрязнения магистральных воздуховодов.

Ключевые слова: системы вентиляции, очистка воздуховодов, дезинфекция, аэродинамическое сопротивление, энергоэффективность, биологическое загрязнение, пожарная безопасность, санитарно-эпидемиологические требования.

D.V. Lobanov, O.M. Martynenko, O.V. Matyunina, P.S. Pigarev, I.A. Kirichenko

SANITARY, TECHNICAL AND EPIDEMIOLOGICAL ASPECTS OF CLEANING AND DISINFECTION OF VENTILATION SYSTEMS IN BUILDINGS FOR VARIOUS PURPOSES

The article discusses the current problems of operating ventilation systems in buildings for various purposes. The negative effects of duct pollution are analyzed: reduced aerodynamic efficiency, increased energy consumption, increased fire risks,

and others. The economic efficiency of cleaning ventilation systems has been calculated, showing annual energy savings while reducing the aerodynamic drag of the ventilation network. A constructive solution has been proposed to install a filter material in the area of diffusers to reduce pollution of the main air ducts.

Keywords: ventilation systems, duct cleaning, disinfection, aerodynamic drag, energy efficiency, biological contamination, fire safety, sanitary and epidemiological requirements.

Современные системы вентиляции являются важным элементом инженерной инфраструктуры жилых, общественных и промышленных зданий. Их основное назначение — обеспечение нормируемых параметров микроклимата и чистоты воздуха [1, 2]. Однако в процессе эксплуатации внутренние поверхности воздуховодов, а также функциональных блоков обработки воздуха (фильтры, теплообменники и т.д.) неизбежно загрязняются пылью, жировыми отложениями и другими веществами, находящимися в перемещаемом вентиляционными системами воздухе (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Внутренняя загрязненная поверхность воздуховода вытяжной вентиляционной системы:
а – жировыми отложениями; б – пылью

Это приводит не только к снижению аэродинамической эффективности, но и к формированию вторичного биологического загрязнения, росту энергопотребления и повышению пожарных рисков [3]. В результате возникает необходимость регулярной очистки вентиляционных сетей как обязательной меры, направленной на обеспечение санитарной, технической и пожарной безопасности.

Актуальность проблемы подтверждается данными эпидемиологического надзора: до 90% инфекционных заболеваний с воздушно-капельным механизмом передачи связаны с неудовлетворительным состоянием вентиляционных систем [4]. Особую опасность представляют легионеллез, аспергиллез, туберкулез и респираторные вирусные инфекции.

С точки зрения аэродинамики загрязнение вентиляционных каналов приводит к снижению пропускной способности системы: эффективная площадь сечения уменьшается, а шероховатость внутренних поверхностей возрастает, что вызывает увеличение сопротивления движению воздуха. Это, в свою очередь, приводит к снижению скорости потока и уменьшению объема подаваемого воздуха. Для поддержания заданного расхода воздуха требуется

увеличение мощности вентилятора. В результате возрастает энергопотребление, а оборудование работает в более нагруженном режиме, что сокращает срок его службы.

Не менее важным аспектом является влияние загрязненных вентиляционных систем на здоровье человека: внутри воздуховодов создаются благоприятные условия для развития бактерий, грибов и других микроорганизмов. Они могут распространяться по помещениям вместе с воздушными потоками, вызывая аллергические реакции, заболевания дыхательных путей и общее ухудшение самочувствия.

Серьезную угрозу представляет и пожарная опасность загрязненных вентиляционных сетей. Особенно это актуально для промышленных предприятий. Например, на предприятиях общественного питания, где в воздуховодах накапливаются жировые отложения. Эти вещества обладают высокой горючестью и способны воспламениться при повышении температуры или попадании искры. В соответствии с требованиями [3], регулярная очистка вентиляционных систем является обязательной мерой обеспечения пожарной безопасности.

В Российской Федерации вопросы эксплуатации и обслуживания вентиляционных систем строго регламентированы: согласно [5], системы вентиляции должны подвергаться регулярным осмотрам и техническому обслуживанию. Очистка воздуховодов должна проводиться не реже одного раза в год, а в условиях повышенного загрязнения - значительно чаще.

Практика эксплуатации показывает, что своевременная очистка вентиляционных систем оказывает значительное влияние на экономическую эффективность. При снижении сопротивления сети уменьшается нагрузка на вентиляторы, что позволяет существенно сократить энергетические затраты. Кроме того, уменьшается износ оборудования, снижается вероятность аварийных ситуаций и необходимость дорогостоящего ремонта.

Рассмотрим пример расчёта определения годовой экономии электроэнергии при очистке воздуховодов от загрязнений, вызвавших увеличение аэродинамического сопротивления.

1. Исходные данные (общие для всех вариантов)

- мощность вентилятора при чистых воздуховодах $P_0 = 5,5$ кВт
- время работы в сутки $t_{\text{день}} = 10$ ч/сут
- количество рабочих дней в году $n = 250$ дней/год
- годовое время работы $T = t_{\text{день}} * n = 2500$ ч/год
- стоимость электроэнергии $c = 9$ руб/кВт·ч
- варианты увеличения сопротивления $k = 10\%, 20\%, 30\%$

2. При постоянном расходе воздуха (вентилятор работает на заданную производительность) мощность (P), потребляемая вентилятором, прямо пропорциональна аэродинамическому сопротивлению сети (R)

$$P \sim R, \quad (1)$$

Если сопротивление сети увеличивается на k , %, то мощность увеличивается во столько же раз

$$P_{\text{загр}} = P_0 * \left(1 + \frac{k}{100}\right), \quad (2)$$

где $P_{\text{загр}}$ – мощность вентилятора при загрязненных воздуховодах, кВт.

Расчёт годового потребления энергии:

- при загрязнённых воздуховодах

$$E_{\text{загр}} = P_{\text{загр}} * T, \quad (3)$$

где $E_{\text{загр}}$ – годовое потребление энергии, кВт·ч;

- после очистки (чистые воздуховоды)

$$E_{\text{чист}} = P_0 * T, \quad (4)$$

Расчёт экономии

$$\Delta E = E_{\text{загр}} - E_{\text{чист}}, \quad (5)$$

где ΔE – годовая экономия энергии, кВт·ч;

$$\Delta \text{руб} = \Delta E * c, \quad (6)$$

где $\Delta \text{руб}$ – годовая экономия, руб.

$$\eta = (\Delta E / E_{\text{загр}}) * 100\%, \quad (7)$$

где η – относительная экономия, %.

Результаты сведём в таблицу 1.

Таблица 1

Исходные данные и результаты расчёта энергетических трат и экономии

k, %	1 + k/100	$P_{\text{загр}}$, кВт	$E_{\text{загр}}$, кВт·ч	$E_{\text{чист}}$, кВт·ч	ΔE , кВт·ч	$\Delta \text{руб}$, руб/год	η , %
10	1,10	6,05	15125	13750	1375	12 375	9,1
20	1,20	6,60	16500	13750	2750	24 750	16,7
30	1,30	7,15	17875	13750	4125	37 125	23,1

Примечание: мощность после очистки во всех трёх вариантах $P_{\text{чист}} = 5,5$ кВт.

Таким образом, получим значения годовой экономии в зависимости от степени увеличения аэродинамического сопротивления вентиляционной сети, см. таблицу 2.

Таблица 2

Годовая экономия в зависимости от степени загрязнения вентиляционной сети

степень загрязнения, (увеличение сопротивления), %	годовая экономия энергии, кВт·ч	годовая экономия, руб/год
10	1 375	12 375
20	2 750	24 750
30	4 125	37 125

При увеличении сопротивления на 30% экономия превышает 37 тысяч рублей в год (для условий данного примера) только за счёт снижения расхода электроэнергии, без учёта дополнительных преимуществ (увеличение срока службы оборудования, снижение шума, улучшение качества воздуха).

Согласно [4], применяются три группы методов очистки и дезинфекции: механические, физические, химические. Выбор метода зависит от типа загрязнения, назначения помещения и эпидемиологической ситуации. В соответствии с [6], ответственность за очистку и дезинфекцию несет владелец/арендатор здания и/или помещения. Работы выполняют организации, имеющие санитарно-эпидемиологическое заключение и соответствующие допуски. После очистки обязательно проведение лабораторных исследований (смывы с поверхностей, отбор проб воздуха) на общее микробное число и патогенную микрофлору.

Проведённый анализ нормативной базы и практических расчётов показывает, что регулярная очистка и дезинфекция систем вентиляции – неотъемлемая часть эксплуатации зданий, обеспечивающая:

- соблюдение требований СанПиН и ГОСТ;
- снижение энергозатрат на 20–30%;
- предотвращение пожаров от жировых отложений;
- выполнение предписаний контролирующих органов.

По нашему мнению, одной из возможных мер по снижению загрязненности вытяжных вентиляционных систем пылью является размещение фильтрующего материала (например, синтепон) у основания вытяжной решетки или диффузора. На рис. 2 представлены фото размещения диффузора, входящего в состав вытяжной вентиляционной системы.

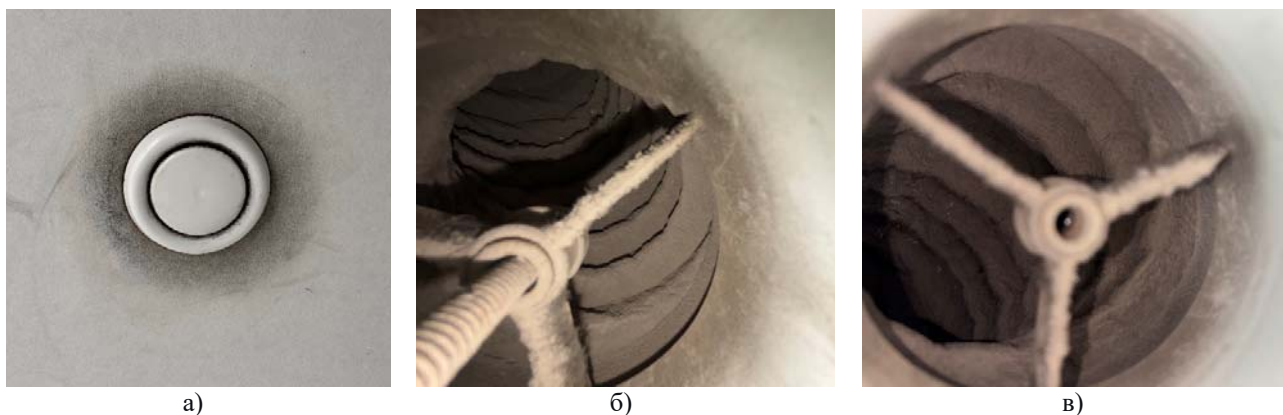


Рис. 2. Вытяжной диффузор:
а – общий вид; б, в – вид воздуховода, присоединенного к диффузору

Фильтрующий материал предлагается разместить у основания диффузора, см. рис. 2 в). Таким образом возможно выполнять периодический осмотр состояния фильтрующего элемента и своевременно осуществлять работы по его обслуживанию: чистке или замене.

Выводы

1. Периодичность очистки воздуховодов должна определяться не только по календарному графику, но и по результатам визуально-инструментального контроля.
2. Для обеззараживания в присутствии людей наиболее безопасны и эффективны рециркуляторы с УФ-лампами закрытого типа или установки на основе постоянных электрических полей (эффективность до 99%).
3. Экономическая эффективность очистки подтверждается снижением расхода электроэнергии и продлением срока службы оборудования.
4. Обязателен документооборот: журнал учёта, акты обследования, договоры со специализированными организациями, имеющими санитарно-эпидемиологические заключения.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 59972-2021. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха общественных зданий. Технические требования. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 35 с.
2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – Москва : Минстрой России, 2020. – 172 с.
3. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности. – Москва : ВНИИПО, 2013. – 94 с.
4. МР 3.5.0315-23. 3.5 Дезинфектология. Рекомендации по выбору и применению систем очистки и обеззараживания воздуха в зданиях и помещениях общественного назначения. – Москва : Роспотребнадзор, 2023. – 45 с.
5. СП 336.1325800.2017. Системы вентиляции и кондиционирования. Правила эксплуатации. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 67 с.
6. Приказ Центра Госсанэпиднадзора в г. Москве № 107 от 12.08.2004 «Об организации контроля за очисткой и дезинфекцией систем вентиляции и кондиционирования». – Москва, 2004. – 12 с.

References

1. GOST R 59972-2021. Ventilation and air conditioning systems of public buildings. Technical requirements. – Moscow : Standartinform, 2021. – 35 p.
2. SP 60.13330.2020. Heating, ventilation and air conditioning. Updated version of SNiP 41-01-2003. – Moscow : Ministry of Construction of Russia, 2020. – 172 p.
3. SP 7.13130.2013. Heating, ventilation and air conditioning. Fire safety requirements. – Moscow : VNIPO, 2013. – 94 p.
4. MR 3.5.0315-23. 3.5 Disinfectology. Recommendations for the selection and use of air purification and disinfection systems in public buildings and premises. – Moscow : Rospotrebnadzor, 2023. – 45 p.
5. SP 336.1325800.2017. Ventilation and air conditioning systems. Operation rules. – Moscow : Standartinform, 2017. – 67 p.
6. Order of the Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision in Moscow No. 107 dated August 12, 2004 "On the organization of control over cleaning and disinfection of ventilation and air conditioning systems". – Moscow, 2004. – 12 p.

*Воронежский государственный
технический университет
Старший преподаватель кафедры
жилищно-коммунального хозяйства
А.А. Мерщиев*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: sasha__1990@mail.ru*

*Старший преподаватель кафедры жилищ-
но-коммунального хозяйства Д.В. Лобанов
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: ldv-36@mail.ru*

*студент группы БПВ-241 кафедры жилищ-
но-коммунального хозяйства
А.А. Глушкова*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: ionaskunasta@gmail.com*

*Руководитель проектов в строительстве
ООО «ВниимиртМедицина» Н.В. Шаталов
Россия, г. Москва, тел. +7(903)250-48-42
e-mail: 7461424@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University*

*Senior lecturer of the department of housing
and communal services*

A.A. Mershchiev

*Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: sasha__1990@mail.ru*

*Senior lecturer of the department of housing
and communal services D.V. Lobanov
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: ldv-36@mail.ru*

*student of the bPV-241 group of the depart-
ment of housing and communal services
A.A. Glushkova*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: ionaskunasta@gmail.com*

*Project manager for construction,
«VniimirtMedicine» N.V. Shatalov
Russia, Moscow, tel. +7(903)250-48-42
e-mail: 7461424@mail.ru*

А.А. Мерщиев, Д.В. Лобанов, А.А. Глушкова, Н.В. Шаталов

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В ЖИЛОМ МНОГОКВАРТИРНОМ ДОМЕ

Обеспечение параметров микроклимата в жилом помещении – это основа благополучия и здоровья населения. Система вентиляции в жилом многоквартирном доме, оборудованного газоиспользующим оборудованием, требует тщательного осмотра и обслуживания как проживающими, так и сотрудниками сервисных организаций. От работоспособности систем, состояния вентиляционных каналов и дымоходов зависят самочувствие, здоровье, а иногда и жизнь людей. В статье рассматривается жилой многоквартирный дом, построенный по программе переселения из ветхого аварийного жилья в Воронежской области.

Ключевые слова: монтажные работы, проектные работы, обследование здания, эксплуатация здания, система вентиляции.

A.A. Mershchiev, D.V. Lobanov, A.A. Glushkova, N.V. Shatalov

TECHNICAL EXAMINATION OF THE EXHAUST VENTILATION SYSTEM IN A RESIDENTIAL MULTIPLE-APARTMENT BUILDING

Ensuring the microclimate parameters in residential buildings is essential for the well-being and health of the population. The ventilation system in residential buildings equipped with gas-using equipment requires careful inspection and maintenance by both residents and service providers. The health and well-being of individuals, and sometimes even their lives, depend on the functionality of these systems and the condition of ventilation ducts and chimneys. This article focuses on a residential building constructed as part of a program to relocate people from dilapidated and unsafe housing in the Voronezh region.

Keywords: installation work, design work, building inspection, building operation, ventilation system.

Объектом исследования в данной статье является жилой многоквартирный дом, построенный по программе переселения из ветхого и аварийного жилья в Воронежской области (рис. 1.).



Рис. 1. Общий вид жилого многоквартирного дома

Жилой многоквартирный дом представляет собой трехэтажное здание с двумя подъездами. В таблице 1 приведена общая характеристика объекта.

Таблица 1

Характеристика объекта исследования

Наименование	Значение
Назначение здания	Жилое
Год постройки	2015
Число этажей	3
Подвал	да
Число лестниц	2
Общая площадь дома, кв.м	2 516.40
Количество жилых помещений	52
Тип фундамента	Ленточный
Тип перекрытий	Железобетонные
Материал несущих стен	Блочные
Площадь подвала по полу, кв.м	1 255.20
Тип системы электроснабжения	Центральное
Тип системы теплоснабжения	Поквартирная система отопления
Тип системы горячего водоснабжения	Индивидуальное поквартирное
Тип системы холодного водоснабжения	Центральное
Тип системы водоотведения	Центральное
Тип системы газоснабжения	Центральное
Тип системы вентиляции	Естественная

Обследование проводилось в несколько этапов в соответствии с требованиями [1] и на основе методик, регламентированных [2]: 1) анализ технической документации (изучение проектной (ПД) и рабочей документации (РД), паспортов на оборудование и актов скрытых работ на предмет соответствия требованиям [3, 4]; 2) визуально-инструментальный контроль (осуществлен обход всех квартир (при допустимом количестве около 50% от общего числа), фиксация дефектов проводилась методом цифровой фотографии); 3) инструментальные замеры (анемометрия: измерение скорости воздушного потока на входе в вытяжные решетки (кухни, санузлы) проводилось крыльчатым анемометром; тепловизионное обследование: для выявления термической неоднородности вентиляционных шахт и дымоходов использовался тепловизор).

При визуальном осмотре были выявлены следующие особенности технического состояния системы (таблица 2): наличие разрозненных приточных клапанов, установка канальных вентиляторов (вмешательство в общедомовую систему), факты перекрытия (заклейки) вытяжных решеток. Критическим дефектом является отсутствие теплоизоляции на большей части вентиляционных шахт в чердачном помещении, а также наличие солевых высолов – признаков замерзания и последующего оттаивания конструкций.

Таблица 2

Особенности системы вентиляции жилого многоквартирного дома

№ п/п	описание	фото
1	В некоторых квартир присутствуют приточные оконные устройства (клапаны) марки Air-box тип Comfort	
2	В помещениях кухонь и санузлов в некоторых квартирах установлены вытяжные вентиляторы для принудительного удаления воздуха	
3	Перекрыты вытяжные вентиляционные решетки в части квартир, «заклеены» скотчем	
4	Большая часть вентиляционных шахт не теплоизолирована в помещении чердака, наблюдается наличие выступающей соли	

№ п/п	описание	фото
		
5	На двух вентиляционных шахтах присутствует теплоизоляция в помещении чердака	

Для проверки работоспособности вытяжных систем вентиляции были произведены замеры скоростей воздушного потока у решеток и проемов. Замеры были произведены в 28 квартирах. По результатам замеров установлены следующие факты:

1. Скорость движения воздушного потока у вытяжных вентиляционных решеток в санузлах минимальна и стремится к нулю (рис. 2).



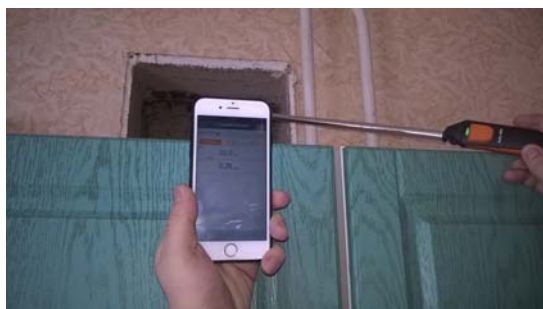
а)



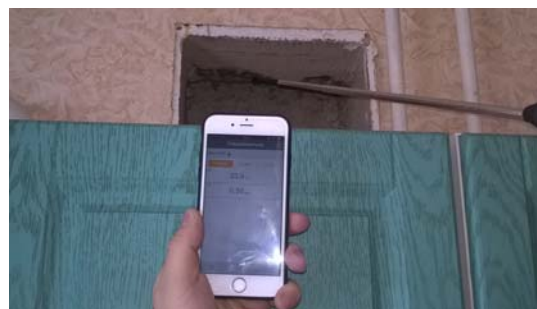
б)

Рис. 2. Значения скорости воздуха у вытяжной решетки, размещенной в санузле:
а) окно закрыто, приток воздуха отсутствует; б) окно приоткрыто на режим «проветривание»

2. На кухнях скорость движения воздушного потока у вытяжных вентиляционных решеток варьируется от 0,4 до 1,0 м/с (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Значения скорости воздуха у вытяжной решетки, размещенной на кухне:
а) окно закрыто, приток воздуха отсутствует; б) окно приоткрыто на режим «проветривание»

3. Открытие приточного оконного устройства (клапана) не влияет на воздухообмен в помещении.

По результатам обследования можно сделать выводы:

1. Система естественной вентиляции в санузлах не работоспособна.
2. Система естественной вентиляции кухонь работает не стабильно.
3. Фактическая производительность приточных клапанов Air-box в закрытом состоянии не превышает 5-10 м³/ч (при нормируемых 31 м³/ч по паспорту), что недостаточно для сбалансированной работы вытяжки.

В отличие от классических подходов к диагностике вентиляции, ориентированных только на определение расхода воздуха, в данном исследовании проведен комплексный анализ теплофизических процессов, происходящих в вентиляционных каналах в переходный и холодный периоды года. Подтверждено, что причиной «опрокидывания» вентиляции в санузлах является потеря тепловой инерции каналом при его промерзании из-за отсутствия теплоизоляции на транзитном участке через холодный чердак, что противоречит требованиям [5, п. 4.17]. Установлено, что даже частичное утепление шахт (как в случае с кухонными каналами, идущими рядом с дымоходом) (рис. 4) обеспечивает их стабильную работу, тогда как неизолированные каналы подвержены дестабилизации.

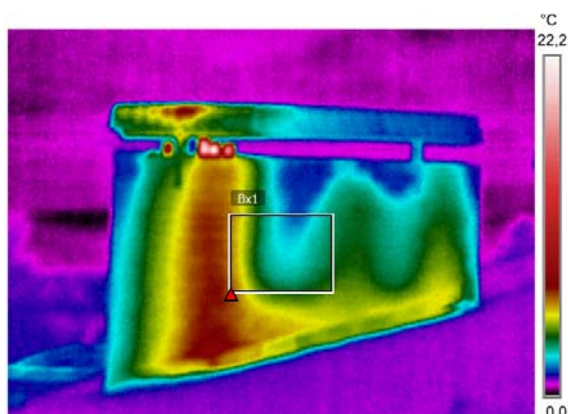


Рис. 4. Тепловизионная съемка вытяжной вентиляционной шахты кухонь

Это позволяет утверждать, что термическое сопротивление вентиляционного канала является важным фактором устойчивой работы естественной вытяжки в многоквартирных зданиях.

Отметим, что в управляющую компанию дома поступали жалобы от жильцов на «опрокидывание» тяги – явление, при котором холодный воздух с улицы поступает в помещение через вытяжной канал. Это происходит потому, что неизолированные стенки канала промерзают; холодный воздух тяжелее теплого и опускается вниз (в квартиру), вытесняя теплый. При этом вентиляционная система переходит в режим неустойчивого равновесия. Наличие канальных вытяжных вентиляторов в квартирах без обратных клапанов усугубляет дисбаланс.

Выводы

По результатам проведенного натурного обследования жилого многоквартирного дома установлено, что существующая система естественной вентиляции не обеспечивает нормативный воздухообмен, что создает риск для здоровья проживающих и нарушает требования [6].

Авторами предлагается комплексное техническое решение, включающее три ключевых аспекта: 1) модернизация вентиляционных шахт: выполнить утепление транзитных участков вентблоков в пределах холодного чердака, обеспечив термическое сопротивление не менее требуемого для наружных стен с учетом климатического района объекта [7]; 2) обеспечение гарантированного притока: размещение гигрорегулируемых оконных или стеновых приточных клапанов; 3) стабилизация работы вытяжных систем: установка на сборные короба оголовков вентиляционных шахт гибридных вентиляторов низкого давления (эти осевые вентиляторы включаются только при недостатке теплового напора, например, в межсезонье или сильный мороз, не создавая сопротивления в остальное время; в кухнях и санузлах необходимо смонтировать гигрорегулируемые вытяжные решетки для поддержания постоянного расхода.

Библиографический список

1. ГОСТ 34060-2017. Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Испытание и наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха. — М.: Стандартиформ, 2018. — 35 с.
2. ГОСТ Р ИСО 16000-8-2011. Воздух замкнутых помещений. Часть 8. Определение локального среднего «возраста» воздуха в зданиях для оценки условий вентиляции. — М.: Стандартиформ, 2012. — 16 с.
3. СП 50.13330.2024 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. — М.: Минстрой России, 2024. — 98 с.
4. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». — М.: Стандартиформ, 2020. — 84 с.
5. Пособие к СНиП 2.08.01-89 «Жилые здания» / ЦНИИЭП жилища. — М.: Стройиздат, 1989. — 128 с.
6. Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
7. СП 131.13330.2025 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». — М.: Стандартиформ, 2025. — 215 с. — ОКС 93.040.

References

1. GOST 34060-2017. Internal utility networks of buildings and structures. Testing and adjustment of ventilation and air conditioning systems. Moscow: Standartinform, 2018. 35 sec.
2. GOST R ISO 16000-8-2011. Indoor air. Part 8. Determination of the local average "age" of air in buildings for assessing ventilation conditions. Moscow: Standartinform, 2012. 16 sec.
3. SP 50.13330.2024. Thermal protection of buildings. Updated version of SNiP 23-02-2003. Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2024. 98 sec.
4. SP 60.13330.2020. "Heating, ventilation, and air conditioning". — M.: Standartinform, 2020. — 84 sec.
5. Guide to SNiP 2.08.01-89 "Residential Buildings" / TsNIIEP Zhilishchana. — M.: Stroyizdat, 1989. — 128 sec.
6. Federal Law of 30.12.2009 N 384-FZ (as amended on 02.07.2013) "Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures".
7. SP 131.13330.2025 "SNiP 23-01-99* Construction Climatology". — M.: Standartinform, 2025. — 215 sec.

УДК 628.12

*Воронежский государственный
технический университет,
Канд. тех. наук, доцент кафедры жилищно-
коммунального хозяйства
И.Ю. Пурусова
Россия, г. Воронеж,
тел.: +7-952-541-3448, vps_na@list.ru*

*Voronezh State
Technical University
Ph.D. (Engineerin), Assoc Prof. of the
department of housing and communal
services I.Y. Purusova
Russia, Voronezh,
tel.: +7-910-249-29-85, vps_na@list.ru*

И.Ю. Пурусова

ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПОГРУЖНЫХ СКВАЖИННЫХ НАСОСОВ

Производительность насосного агрегата и продуктивность добычи воды из скважины зависит от условий его эксплуатации. В статье предложена схема распределения мощности для эффективной работы центробежного скважинного насоса на действующем водозаборе подземных вод, а также представлены зависимости общих потерь мощности при расчёте КПД центробежного многоступенчатого насоса.

Ключевые слова: центробежный насосный агрегат для водозаборных скважин, полезная мощность насоса, потери мощности.

I.Y. Purusova

FACTORS AFFECTING EFFICACY BOREHOLE PUMP OPERATIONS

The capacity of the pump unit and the productivity of water production from the well depend on its operating conditions. The article proposes a power distribution scheme for the effective operation of a centrifugal well pump at an operating groundwater intake, and also presents the relationships of total power losses in calculating the efficiency of a centrifugal multi-stage pump.

Keywords: centrifugal pump unit for water wells, pump net power, power loss.

Энергоёмким сектором системы водоснабжения на являются насосные агрегаты. Эксплуатирующие организации стремятся повысить энергетическую эффективность водозаборов подземных вод с установленным насосным оборудованием [1-3].

Погружные скважинные многоступенчатые центробежные агрегаты насосы используются на водозаборах подземных вод, рисунок 1. В водозаборных скважинах установлены насосы с высокой мощностью двигателя до 130 кВт и частотой вращения 3000 оборотов в минуту. Такие технические характеристики соответствуют потребностям жилищно-коммунального хозяйства и промышленных предприятий в системе водоснабжения, где необходим забор больших объёмов воды круглосуточно.

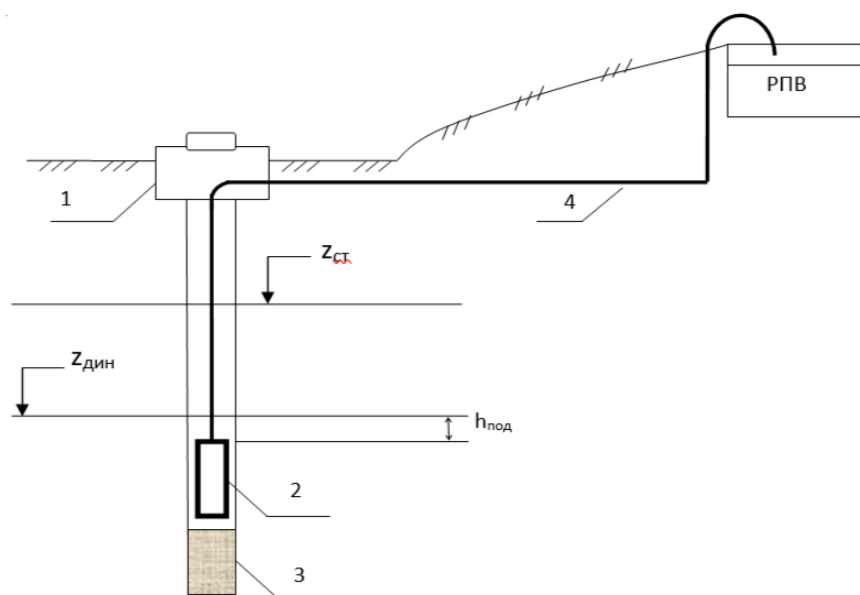


Рис. 1. Схема подъём воды из скважины в РПВ:

1 – павильон скважины; 2 – насосный агрегат ЭЦВ; 3 – фильтр скважины; $h_{под}$ – подпор погружного насоса - 0,5 м; $z_{ст}$ – статический уровень воды в скважине; $z_{дин}$ – динамический уровень воды в скважине; 4 – сборный водовод

Скважинные погружные насосы с вертикальным валом обладают рядом особенностей, которые могут быть использованы для снижения общего энергопотребления и повышения механической надежности [4-6]. В многоступенчатых насосах вода под действием центробежной силы нагнетается через каждую секцию с закреплёнными рабочими колёсами на вертикальный вал [7]. Последовательно от ступени к ступени напор воды увеличивается, по напорной характеристике Q - H через рабочие колёса насоса проходит объёмный расход Q ($м^3/ч$) а напор H (м) через ступени.

Основные узлы насосной установки, с которыми связаны потери энергии, следующие [8-11]:

- встроенный обратный клапан;
- электродвигатель;
- защитная сетка;
- насос в сборе: с рабочими колёсами и валом соединяющим насос с электродвигателем.

Производительность насосного агрегата и продуктивность добычи воды из скважины зависит от условий его эксплуатации [2, 4]. Объясняется это тем, что насос – механическое устройство, которое выполняет полезную работу при подаче электроэнергии к его приводу от внешнего источника. Работа погружного насоса затрачивается на подъём и транспортировку воды в сборный водовод, далее в РПВ (резервуар питьевой воды). Мощность многоступенчатого насоса с вертикальным валом определяется с учётом времени, за которое выполняется работа, необходимая для вращения рабочего колеса каждой ступени.

Полезная мощность насоса рассчитывается через объём воды, поднимаемый насосом на заданную высоту за единицу времени с учётом удельного веса воды.

На рисунке 2 для насосного агрегата показана зависимость полезной мощности насоса к мощности электродвигателя, потребляемой от источника электрического питания на действующих водозаборных сооружениях.

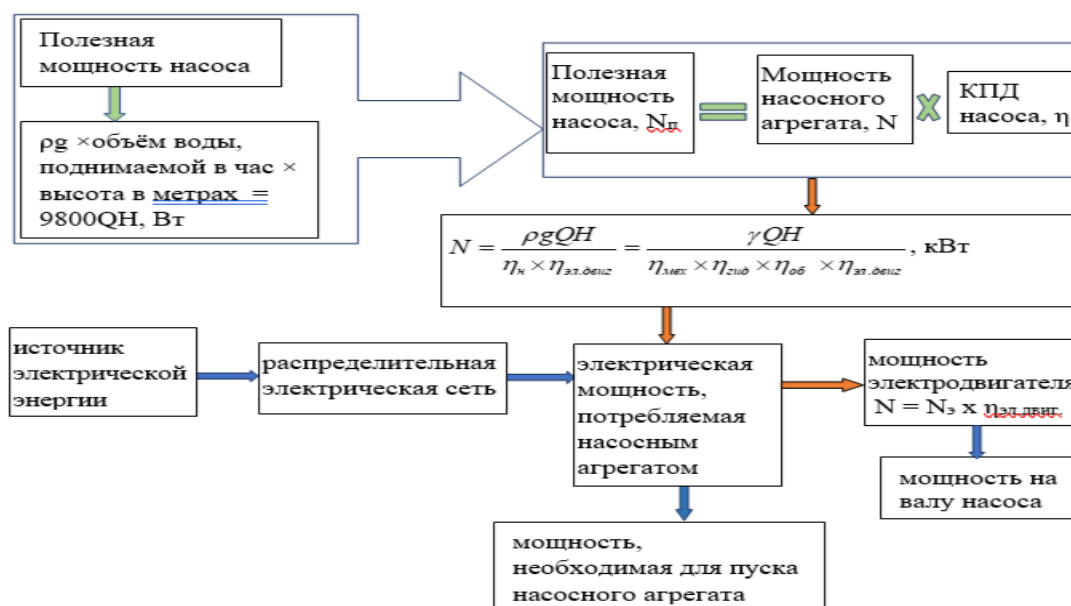


Рис. 2. Схема распределения мощности для эффективной работы центробежного скважинного насоса на действующем водозаборе подземных вод:

ρ – плотность перекачиваемой среды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; Q – расход воды, м³/с; H – напор, м; N_p – электрическая мощность, потребляемая двигателем из сети; $\eta_{мех}$ – механический КПД;

$\eta_{гид}$ – гидравлический КПД; $\eta_{об}$ – объёмный КПД $\eta_{эл.дв.}$ – КПД электродвигателя

Потери мощности при перекачивании воды насосным агрегатом определяются полным КПД насоса, который равен отношению полезной мощности насоса (N_p) к мощности агрегата (N). Полный КПД насосного агрегата учитывает механический КПД, объёмный КПД и гидравлический КПД и КПД электродвигателя.

На рисунке 3 представлены зависимости общих потерь мощности при расчёте КПД центробежного многоступенчатого насоса, установленного в действующей водозаборной скважине.



Рис. 3. Общие потери мощности погружного скважинного центробежного многоступенчатого насоса

Механические потери мощности – определяются потерями на трение в подшипниках, в уплотнениях вала насоса, а также с увеличением зазоров в щелевых уплотнениях рабочих колёс. Потери мощности на дисковое трение рабочих колёс о поток воды возникают при взаимодействии потока с внешними поверхностями дисков насоса. Если насос «взял нагрузку», но подача отсутствует, возникают потери гидродинамического торможения, которые могут достигать до 100% от мощности насоса, то есть агрегат работает на холостом ходу. На действующих водозаборах подземных вод особое внимание уделяют потерям гидродинамического торможения вызванным появлением воздуха и (или) песка в погружном насосе с резким снижением производительности. Как показывает практика эксплуатации скважинных насосов – потери гидравлического торможения минимальны и на большинстве водозаборов отсутствуют.

Оптимальный режим работы агрегата на сборный водовод способствует снижению внешних механических потерь до 1% от мощности насоса.

Увеличение зазоров в щелевых уплотнениях рабочих колёс из-за износа насоса могут влиять на снижение производительности и увеличения потребления электроэнергии, что снижает КПД насоса.

Гидравлические потери мощности – это затраты мощности на преодоление гидравлического сопротивления при движении воды в проточной части многоступенчатого насоса. Возникает трение жидкости о твердые поверхности внутри насоса в подводе, рабочих колёсах и отводе. На входе и выходе воды каждой ступени погружного насоса фактический КПД одной ступени может снижаться, но по мере увеличения количества ступеней эта разница уменьшается. Гидравлические потери мощности связаны с местными потерями напора в рабочих колёсах и отводах многоступенчатого насоса, что приводит к снижению напора. С гидравлическими потерями мощности связано нарушение сплошности потока с образованием пузырьков воздуха, появляется процесс кавитации в рабочем колесе насоса. Такой режим работы погружного насоса приводит к снижению производительности.

Объёмные потери мощности – потери энергии, возникающие в результате утечек и перетекания воды из нагнетательной части насоса во всасывающую через пространство между рабочими колесами и корпусом. К объёмным потерям мощности относятся также утечки через зазоры и уплотнения рабочих колёс и вала насоса. Объёмные потери мощности определяются разностью величин напоров на выходе из рабочего колеса и на входе рабочего колеса через щелевые уплотнения с потерей энергии воды, что неизбежно ведёт к снижению подачи насосного агрегата.

Общая эффективность работы скважинного многоступенчатого насоса или полный КПД насоса снижается из-за потерь напора в секциях, в водоподъёмной колонне, оголовке скважины, в напорном трубопроводе перед врезкой в сборный трубопровод.

Имеет большое значение для эксплуатирующих организаций насосного оборудования предоставление заводами-изготовителями подробных технических данных по потерям мощности в насосе и электродвигателе агрегата, а также потреблению электроэнергии.

Выводы

1. Показана схема распределения мощности для эффективной работы центробежного скважинного насоса на действующем водозаборе подземных вод
2. Предложена структурная взаимосвязь составляющих потерь мощности насоса при расчёте КПД центробежного многоступенчатого насосного агрегата. Уточнены общие потери мощности погружного многоступенчатого насоса на действующем водозаборе.
3. Оптимальный режим работы насоса неразрывно связан энергоэффективной и механически надёжной работой электродвигателя.

Библиографический список

1. Фисенко В. Н. Оценка энергоэффективности насосов в системах водоснабжения / В. Н. Фисенко // В сборнике: Яковлевские чтения XIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева. М-во образования и науки Рос. Федерации, Московский государственный строительный университет. 2018. – 116-123 с.
2. Фисенко В. Н. Энергетический аудит насосов в промышленных и коммунальных системах и маркировка эффективности эксплуатации: системный подход (часть 1) / В. Н. Фисенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. – № 6. – С. 55-64.
3. Пурусова И. Ю. Эксплуатация действующих насосных станций / И. Ю. Пурусова // Учебно-методическое пособие. Электронный ресурс. – Воронеж. - 2023. - С.68.
4. Пурусова И. Ю. Причины снижения производительности скважинных насосов в системах водного хозяйства / И. Ю. Пурусова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 4(31). – С. 51-58.
5. Пурусова И. Ю. Организация мероприятий по сокращению энергозатрат на водозаборных сооружениях / И. Ю. Пурусова // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2022 : Сборник докладов Третьей Национальной научной конференции, Москва, 19 декабря 2022 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. – С. 888-892.
6. Пурусова И. Ю. Моделирование управления подачей воды на водозаборах из подземных источников / И. Ю. Пурусова, К. И. Чижик // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 5(785). – С. 94-100.
7. Кузнецов А. В. Автоматизированное проектирование многоступенчатого центробежного насоса / А. В. Кузнецов, С. С. Панайотти, А. И. Савельев // Учебное пособие - Калуга, 2013 -170 с.
8. Щербаков В. И. Анализ совместной работы водозаборных сооружений из подземных источников / В. И. Щербаков, И. Ю. Пурусова // В книге: Методология безопасности среды жизнедеятельности Программа и тезисы IV Крымской Международной научно-практической конференции. Под редакцией: А.Т. Дворецкого, Т.В. Денисовой, А.Е. Максименко. - 2017. - С. 85
9. Изотова Т. В. Исследование рабочих характеристик центробежного погружного насоса систем внутреннего и внешнего водоснабжения специальных сооружений / Т. В. Изотова // Двойные технологии. - 2019. № 1 (86). - С. 33-37.
10. Николенко И. В. Анализ энергетической эффективности силовых агрегатов насосных станций систем водоснабжения и водоотведения по удельным показателям / Николенко И.В. // Строительство и техногенная безопасность. – 2020. – № 18 (70). – С. 143-148.
11. Purusova I. Simulation of water supply control on water intakes facilities from underground sources / I. Purusova, K. Chizhik, M. Tolstoy, E. Popova // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 141. – P. 03018.

References

1. Fisenko V.N. Assessment of the energy efficiency of pumps in water supply systems/V.N. Fisenko//In the collection: Yakovlevsky readings XIII International scientific and technical conference dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences S.V. Yakovlev. Ministry of Education and Science Ros. Federation, Moscow State University of Civil Engineering. 2018. - 116-123 s.

2. Fisenko V. N. Energy audit of pumps in industrial and municipal systems and marking of operation efficiency: a systematic approach (part 1)/V. N. Fisenko//Water supply and sanitary equipment. – 2021. – № 6. - S. 55-64.
3. Purusova I. Yu. Operation of existing pumping stations/I. Yu. Purusova//Educational and methodological manual. Electronic resource. - Voronezh. - 2023. - S.68.
4. Purusova I. Yu. Reasons for the decrease in the productivity of well pumps in water management systems/I. Yu. Purusova//Housing and communal infrastructure. – 2024. – № 4(31). - S. 51-58.
5. Purusova I. Yu. Organization of measures to reduce energy costs at water intake facilities/I. Yu. Purusova//Actual problems of the construction industry and education - 2022: Collection of reports of the Third National Scientific Conference, Moscow, December 19, 2022. - Moscow: National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2023. - S. 888-892.
6. Purusova I. Yu. Modeling of water supply control at water intakes from underground sources/I. Yu. Purusova, K. I. Chizhik//News of higher educational institutions. Construction. – 2024. – № 5(785). - S. 94-100.
7. Kuznetsov A.V. Automated design of a multi-stage centrifugal pump/A.V. Kuznetsov, S. S. Panaiotti, A. I. Savelyev//Textbook - Kaluga, 2013 -170 p.
8. Shcherbakov V.I. Analysis of the joint work of water intake facilities from underground sources/V.I. Shcherbakov, I. Yu. Purusova//In the book: Methodology of life environment safety Program and abstracts of the IV Crimean International Scientific and Practical Conference. Edited by: A.T. Dvoretzky, T.V. Denisova, A.E. Maksimenko. - 2017. - S. 85
9. Izotova T.V. Study of the performance characteristics of a centrifugal submersible pump of internal and external water supply systems of special structures/T.V. Izotova//Double technologies. - 2019. № 1 (86). - S. 33-37.
10. Nikolenko I.V. Analysis of the energy efficiency of power units of pumping stations of water supply and sewerage systems by specific indicators/Nikolenko I.V.//Construction and man-made safety. – 2020. – № 18 (70). - S. 143-148.
11. Purusova I. Simulation of water supply control on water intakes facilities from underground sources / I. Purusova, K. Chizhik, M. Tolstoy, E. Popova // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 141. – P. 03018.

*Воронежский государственный
технический университет
Студент кафедры теплогазоснабжения
и нефтегазового дела
П.С.Щеглова
Россия, г. Воронеж, тел.
e-mail: pshcheglova6304@mail.ru
Студент кафедры теплогазоснабжения
и нефтегазового дела
С.В. Баранников
Россия, г. Воронеж, тел.
e-mail: stanbarannikov@yandex.ru*

*Voronezh State
Technical University
Student of the Department of Heat
and Gas Supply and Oil and Gas Engineering
P.S. Shcheglova
Russia, Voronezh, tel.
e-mail: pshcheglova6304@mail.ru
Ph.D.(Engineerin), Assoc Prof. of Department
of Technological and Fire Safety
S.V. Barannikov
Russia, Voronezh, tel.
e-mail: stanbarannikov@yandex.ru*

П.С. Щеглова, С.В. Баранников

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ЗДАНИЙ ПО УКРУПНЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Надежное и экономически обоснованное проектирование систем теплоснабжения напрямую зависит от корректности определения тепловых нагрузок. Рассматриваются различные методики определения тепловых нагрузок на отопление, но все они дают различные результаты и неизвестно какая из них наиболее корректная. В результате расчётов определяется наиболее точный метод.

Ключевые слова: отопление жилых зданий, методики расчёта, теплопотребление, нормы потребления.

P.S. Shcheglova, S.V. Barannikov

DETERMINATION OF BUILDING HEAT LOADS BY ENHANCED INDICATORS

The reliable and cost-effective design of heating systems directly depends on the correct determination of heat loads. Various methods are considered for determining heating heat loads, but they all produce different results, and it is not known which method is the most accurate. The calculations determine the most precise method.

Keywords: heating of residential buildings, calculation methods, heat consumption, and consumption standards.

Тепловые нагрузки на отопление являются основой для проектирования систем теплоснабжения зданий. Правильное определение величины обеспечивает энергоэффективность здания [1,2]. Ошибки в расчётах приводят к увеличению потребления топлива или к снижению температуры в помещениях в отопительный сезон [3-5]. Точность расчетных данных является критически важной для оптимизации энергопотребления и поддержания комфортных условий [6-8]. Цель работы – рассчитать тепловую нагрузку на отопление для жилых зданий по найденным методикам, сравнить полученные значения и определить наиболее верный метод.

В табл. 1 представлены методики для определения тепловых нагрузок на отопление.

Таблица 1

Методики для определения тепловых нагрузок

№ метода	Номер документа	Название документа	Название метода	Формула для нахождения
1	Приказ от 25 января 2016 г. N 5	«Об утверждении нормативов потребления коммунальных услуг по отоплению на территории Пензенской области»	«Норматив потребления коммунальных услуг по отоплению в жилых и многоквартирных домах»	Установленное значение
	Постановление от 1 октября 2024г N 20	«Об утверждении нормативов потребления коммунальных услуг по отоплению на территории муниципального образования «Городской округ город Астрахань»		
2	СП 50.13330.2024	«Тепловая защита зданий»	«Метод удельной тепловой характеристики»	$q_o \cdot V \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$
3	СП 124.13330.2020	«Тепловые сети»	«Метод удельной тепловой характеристики»	$q_o \cdot S$
4	СП 373.1325800.2018	«Источники теплоснабжения автономные. Правила проектирования»	«Метод расчета расхода теплоты для автономных источников теплоснабжения»	$q \cdot S \cdot (1 + k_1)$

q_o , q – удельная тепловая характеристика ($\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$) и ориентировочный укрупненный показатель удельного расхода теплоты на отопление и вентиляцию здания на 1 м^2 общей площади ($\text{Вт}/\text{м}^2$) соответственно; V – объём по наружному обмеру здания (м^3); S – общая площадь здания (м^2); $t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$ – расчётная температура внутреннего и наружного воздуха для проектирования отопления соответственно ($^\circ\text{C}$); k_1 – коэффициент, учитывающий долю расхода теплоты, на отопление общественных зданий (при отсутствии данных следует принимать равным 0,25).

Исходные данные для расчета были сведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры жилых зданий

Параметр	Пенза	Астрахань
Объём здания по наружному обмеру, м^3	91215	113400
Общая площадь здания, м^2	30405	37800
Расчетная температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$	-26	-19
Расчётная температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{C}$	20	20

На рис.1 представлены результаты расчёта в Гкал/(м²·мес.). Из него следует, что диапазон значений для г.Астрахани от 0,0226 до 0,0272 Гкал/(м²·мес.), а для г.Пензы от 0,0249 до 0,0284 Гкал/(м²·мес.). Значения отличаются на 20,35% и 14,06% соответственно.



Рис. 1. Тепловая нагрузка на отопление

По методике 4 для Астрахани наибольший результат, а для Пензы наименьший. Для Пензы наибольший результат по методике 3, для Астрахани наоборот наименьший. Вероятно методика «Норматив потребления коммунальных услуг по отоплению в жилых и многоквартирных домах» наиболее точная, так как этот норматив - регламентированный показатель, который используется для расчёта коммунальных услуг (при отсутствии ОДПУ или его неисправности), его устанавливают региональные власти с учётом климатических условий.

Был проведен поиск и анализ нормативов для административных центров городов центрального федерального округа (ЦФО). На рис.2 представлены значения местных нормативов расхода тепловой энергии для городов ЦФО.

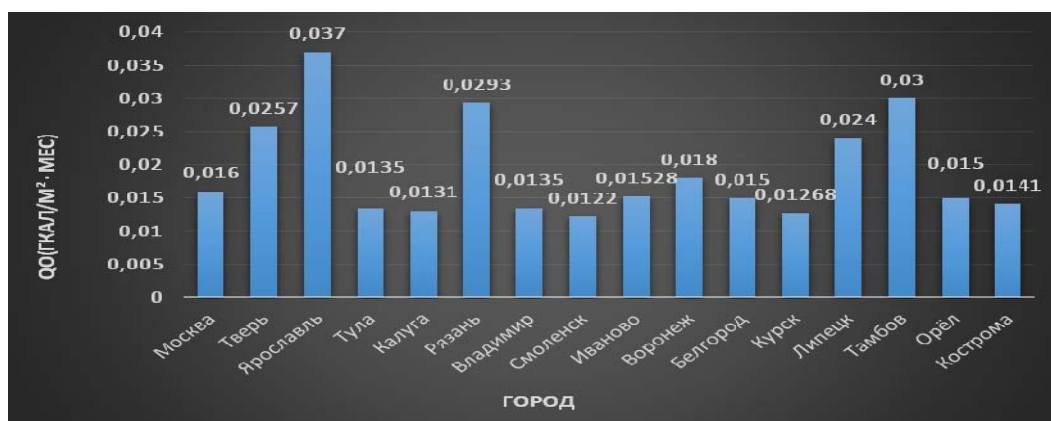


Рис. 2. Нормативы расхода тепловой энергии на отопление городов ЦФО

В результате анализа тепловых нагрузок в городах ЦФО: минимальные значения в г.Смоленск, максимальные в г.Ярославль. Например, норматив Ярославля больше норматива Воронежа на 51,4 %, расчетная температура холодной пятидневки -29°C и -23°C соответственно. Можно предположить, что норматив зависит от температуры холодной пятидневки. Но, если сравнить города с одинаковой температурой, например, г.Тамбов и г.Липецк (температура холодной пятидневки равна -25°C), то показатели отличаются в 1,25 раз. Следовательно, температура является одним из влияющих факторов, но не единственным. При формировании нормативов используют разные методы (экспертный, расчётный, метод аналогов), что приводит к различиям даже при схожих исходных параметрах.

Выводы

В ходе проведения работы был проведен расчёт разными методиками. На основе полученных данных и сравнения было установлено, что для определения тепловых нагрузок наиболее точным методом является «Норматив потребления коммунальных услуг по отоплению в жилых и многоквартирных домах», который устанавливается в городах уполномоченным органом государственной власти.

Библиографический список

1. Китаев, Д. Н. Расчет фактического теплопотребления промплощадки / Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 3(8). – С.40-45.
2. Целесообразность и перспективы внедрения энергосберегающих инноваций в эксплуатационной сфере объектов инфраструктуры / О. А. Куцыгина, Д. В. Ельшин, О. В. Елагин, Г. Н. Галицын // Социально-экономические проблемы развития предприятий и регионов: сборник статей XX Международной научно-практической конференции, Пенза, 29–30 июня 2016 года / Под редакцией Г.А. Резник. – Пенза: Автономная некоммерческая научно-методическая организация «Приволжский Дом знаний», 2016. – С. 56-63.
3. Теплопотребление многоквартирных жилых домов за отопительный период / Д. Н. Китаев, А. В. Черемисин, З. С. Гасанов, А. А. Михайлов // Альтернативная и интеллектуальная энергетика: Материалы II Международной научно-практической конференции, Воронеж, 16–18 сентября 2020 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2020. – С. 249-250.
4. Куцыгина, О. А. Техничко-экономические аспекты проектирования зданий и тепло-снабжающих систем с учетом затрат на эксплуатацию: монография / О. А. Куцыгина ; О. А. Куцыгина. – Воронеж : Изд.-полиграфический центр Воронежского гос. ун-та, 2009. – 303 с. – ISBN 978-5-9273-1530-7.
5. Китаев, Д. Н. Уточнение расчета нормативного сезонного запаса твердого топлива для коммунальных котельных / Д. Н. Китаев, О. А. Куцыгина, М. С. Хомяков // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2026. – № 1(36). – С. 42-49. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.004.

References

1. Kitaev, D. N. Calculation of the actual heat consumption of an industrial site / D. N. Kitaev, T. V. Shchukina // Urban planning. Infrastructure. Communications. – 2017. – No. 3(8). – Pp. 40-45.
2. Expediency and prospects of introduction of energy-saving innovations in the operational sphere of infrastructure facilities / O. A. Kutsygina, D. V. Elshin, O. V. Yelagin, G. N. Galitsyn // Social and economic problems of development of enterprises and regions: collection of articles of the X International scientific and practical conference, Penza, June 29–30, 2016 / Edited by G.A. Reznik. – Penza: Autonomous Non-Profit Scientific and Methodological Organization Privolzhsky Dom Znaniy, 2016. – Pp. 56-63.
3. Heat Consumption of Apartment Buildings During the Heating Period / D. N. Kitaev, A. V. Cheremisin, Z. S. Gasanov, and A. A. Mikhailov // Alternative and Intelligent Energy: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference, Voronezh, September 16–18, 2020. – Voronezh: Voronezh State Technical University, 2020. – Pp. 249-250.
4. Kutsygina, O. A. Technical and Economic Aspects of Designing Buildings and Heating Systems, Taking into Account Operating Costs: Monograph / O. A. Kutsygina ; O. A. Kutsygina. – Voronezh: Publishing and Polygraphic Center of Voronezh State University, 2009. – 303 p. – ISBN 978-5-9273-1530-7.
5. Kitaev, D. N. Refinement of the Calculation of the Standard Seasonal Stock of Solid Fuel for Municipal Boiler Rooms / D. N. Kitaev, O. A. Kutsygina, and M. S. Khomyakov // Housing and Municipal Infrastructure. – 2026. – No. 1(36). – Pp. 42-49. – DOI 10.36622/2541-9110.2026.36.1.004.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 656.02:656.051:656.07

*Тулский государственный университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры Транспортно-
технологические машины и процессы*

А.В. Ахромешин

*Канд. техн. наук, доц. кафедры Транспортно-
технологические машины и процессы*

В.А. Пышный

Россия, г. Тула, тел. +7(953) 952-83-69

e-mail: vladislav.pyshnyi@mail.ru

Tula State University

*Cand. of Techn. Science, Associate Professor of
the Department of Transport and Technological
Machines and Processes A.V. Akhromeshin*

*Cand. of Techn. Science, Associate Professor
of the Department of Transport and Techno-
logical Machines and Processes V.A. Pyshnyi*

Russia, Tula, tel. +7(953) 952-83-69

e-mail: vladislav.pyshnyi@mail.ru

А.В. Ахромешин, В.А. Пышный

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИТС В ТУЛЬСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

В статье рассматриваются структурно-функциональные особенности и перспективы развития интеллектуальной транспортной системы (ИТС) Тульской городской агломерации. На основе анализа внедренных подсистем и стратегических документов определены ключевые направления дальнейшего развития, включая организацию приоритетного проезда для маршрутного транспорта, масштабирование сети «умных» светофорных объектов и увеличение плотности размещения детекторов транспорта. Особое внимание уделено перспективам внедрения алгоритмов искусственного интеллекта для решения задач предиктивного управления транспортными потоками.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, приоритетный проезд общественного транспорта, детекторы транспорта, управление дорожным движением, нейросетевые технологии.

A.V. Akhromeshin, V.A. Pyshnyi

PROSPECTS FOR ITS DEVELOPMENT IN THE TULA AGGLOMERATION

The article discusses the structural and functional features and prospects for the development of the intelligent transport system (ITS) in the Tula urban agglomeration. Based on the analysis of the implemented subsystems and strategic documents, key areas for further development have been identified, including the organization of priority traffic for public transport, the scaling of the network of smart traffic lights, and the increase in the density of traffic detectors. Special attention is given to the prospects for implementing artificial intelligence algorithms to solve the problems of predictive traffic flow management.

Keywords: intelligent transport system, priority passage for public transport, transport detectors, traffic management, neural network technologies.

В условиях урбанизации и роста автомобилизации транспортные системы крупных городских агломераций сталкиваются с проблемой истощения пропускной способности улично-дорожной сети. Тульская область, являясь одним из пилотных регионов Российской Федерации в рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги» (с последующей интеграцией в национальный проект «Инфраструктура для жизни»), с 2019 года реализует программу поэтапного внедрения интеллектуальной транспортной системы.

Тульская городская агломерация, включающая основные опорные населённые пункты, Новомосковск, Щёкино, Алексин и Венёв, характеризуется высокой интенсивностью трудовой маятниковой миграции и значительной транспортной нагрузкой на связующие магистрали. Данные обстоятельства обуславливают необходимость применения методов динамического управления транспортными потоками на базе современных цифровых технологий.

Целью настоящего исследования является анализ текущего состояния ИТС Тульской агломерации, выявление организационно-технических аспектов ее функционирования и определение приоритетных направлений развития с учетом мировых и отечественных тенденций в области управления транспортными системами.

В настоящее время ИТС Тульской агломерации представляет собой иерархическую распределенную систему, интегрирующую периферийные и серверные аппаратно-программные комплексы. Согласно открытым источникам [1], в составе системы функционируют следующие инструментальные подсистемы:

Подсистема мониторинга параметров транспортных потоков, включающая 372 детектора транспорта, размещенные на ключевых участках магистральных улиц и дорог агломерации. Указанные средства позволяют в реальном времени определять параметры транспортного потока: интенсивность, скорость, плотность и загрузку.

Подсистема светофорного управления, насчитывающая 145 модернизированных светофорных объектов, оборудованных современными дорожными контроллерами подключения различных вариантов управления (локального, автономного, координированного и т.д.), а также 8 «умных» пешеходных переходов.

Подсистема видеонаблюдения, детектирования ДТП и ЧС – более 700 источников, интегрированных в единую платформу для мониторинга дорожной обстановки. Периферийные объекты иных, в том числе внешних, систем – динамические информационные табло (2 ед.), метеостанции (24 ед.), датчики экологического контроля.

Согласно официальным данным Министерства транспорта и дорожного хозяйства Тульской области, результаты внедрения ИТС демонстрируют положительную динамику: средняя скорость движения транспорта возросла на 50% (с 16 до 24 км/ч), при этом среднее время поездки в зоне действия системы сократилось на 33% (с 63 до 41 минуты). Данные показатели коррелируют с результатами исследований эффективности ИТС, представленными в работах Кузнецова С.А. и Николаева В.А. [2], которые отмечают, что наиболее результативными являются проекты, основанные на поэтапном внедрении и масштабируемой архитектуре.

Анализ программных документов и тендерной документации позволяет выделить количественные и качественные цели развития ИТС агломерации на период до 2027 года запланировано:

- установка 24 дополнительных обзорных камер видеонаблюдения;
- монтаж 103 детекторов транспорта;
- подключение 35 светофорных объектов к интеграционной платформе.

Данные мероприятия соответствуют принципам экстенсивного развития, направленного на увеличение охвата улично-дорожной сети средствами мониторинга и управления. Как отмечается в работе Сторожевой О.В. и соавторов[3], «умные дороги» требуют создания инфраструктуры нового поколения, обеспечивающей непрерывный сбор и обработку пространственно-распределенных данных.

Приоритетными зонами для оснащения являются магистрали с высокой интенсивностью движения – Одоевское шоссе, а также маршруты, связывающие удаленные муниципалитеты. Выбор данных направлений обусловлен наибольшим эффектом от внедрения элементов директивного управления в условиях высокой вариативности транспортной нагрузки.

Одним из ключевых векторов развития является внедрение подсистемы обеспечения приоритетного проезда. Данная мера направлена на повышение эксплуатационной скорости и регулярности движения общественного транспорта.

Стандартной технологией обеспечения позиционирования является использование спутниковых систем (ГЛОНАСС/GPS), установленных на борту транспортного средства. В текущих условиях наличия проблем с получением спутниковой информации, а также ограничениями мобильного интернета, предполагается использование технологий обнаружения приближающихся транспортных средств с помощью RFID-меток. При приближении автобуса к перекрестку контроллер получает сигнал и адаптирует режим работы светофора (продление разрешающего сигнала или сокращение запрещающего). В условиях Тульской агломерации, где доля безналичной оплаты проезда и функционирующей системы валидации превышает 98%, внедрение приоритетного проезда является логичным этапом цифровой трансформации транспортной системы.

4. Перспективы применения нейросетевых технологий и искусственного интеллекта.

Современные исследования в области интеллектуальных транспортных систем все в большей степени ориентируются на использование методов машинного обучения и компьютерного зрения. В работе Новикова А.Н. и соавторов [4] представлена система автоматической детекции опасных маневров на основе YOLOv8 и Deep SORT, демонстрирующая точность классификации до 89,3%.

Применительно к Тульской агломерации перспективными направлениями использования ИИ являются:

- предиктивное моделирование транспортных потоков – прогнозирование возникновения заторовых ситуаций на основе анализа ретроспективных данных и текущей обстановки;
- автоматическое детектирование ДТП и нештатных ситуаций – идентификация событий по видеопотоку без участия оператора;
- управление светофорными объектами на основе нейросетевых алгоритмов – переход от реактивного (реагирование на текущее состояние) к упреждающему управлению (прогнозирование, координацию и оптимизацию в реальном времени).

Особый интерес представляет интеграция технологий компьютерного зрения в системы управления светофорами. Как отмечается в исследовании Чжоу Х.[5], применение методов детекции транспортных потоков с использованием видеонаблюдения позволяет динамически регулировать фазы светофорных объектов.

Однако, как справедливо указывают Баранов Л.А. и соавторы[6], внедрение систем ИИ в ИТС сопряжено с необходимостью обеспечения информационной и функциональной безопасности, а также создания доверенной среды функционирования. Данный аспект требует разработки соответствующих организационно-технических мер защиты.

Выводы

Интеллектуальная транспортная система Тульской городской агломерации является одним из наиболее успешных региональных проектов в данной сфере, демонстрирующим доказанную эффективность (рост скорости движения на 50% при сокращении времени поездки на 33%).

Дальнейшее развитие системы, согласно проведенному анализу, будет осуществляться по следующим направлениям:

- экстенсивное развитие – увеличение числа детекторов транспорта, камер видеонаблюдения и светофорных объектов, включенных в состав ИТС;
- интенсивное развитие – внедрение алгоритмов приоритетного проезда общественного транспорта и технологий искусственного интеллекта для предиктивного управления.

Реализация указанных мер позволит не только повысить пропускную способность улично-дорожной сети агломерации, но и улучшить качественные характеристики транспортного обслуживания населения (сокращение временных затрат на поездки, повышение регулярности движения общественного транспорта, снижение экологической нагрузки).

Библиографический список

1. В Туле развивают интеллектуальную транспортную систему. – URL: <https://www.digitalagetransport.ru/media/news/v-tule-razvivayut-intellektualnuyu-transportnuyu-sistemu/> (дата обращения: 19.05.2026).
2. Кузнецов С.А., Николаев В.А. Организационно-технические аспекты внедрения интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях // Экономика и управление. 2025. Т. 31. № 6. С. 728-737.
3. Сторожева О.В., Дорохин С.В., Чепрасова А.А. Умные дороги будущего: инфраструктура нового поколения // Арктика: перспективы, инновации и развитие регионов: IX Международный арктический саммит (Москва, 2025 г.): сборник материалов. – М., 2025. С. 311-313.
4. Новиков А.Н., Кущенко Л.Е., Кущенко С.В., Улинец И.А. Детекция и классификация опасных маневров на основе видеоданных с дорожных камер // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». 2025. Т. 22. № 6. С. 916-927.
5. Чжоу Х., Штенников Д.Г. Методы детекции транспортных потоков с помощью компьютерного зрения для улучшения управления светофорами // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. – СПб.: Университет ИТМО, 2025. URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/15301> (дата обращения: 16.05.2026).
6. Баранов Л.А., Сафронов А.И., Сидоренко В.Г. Развитие интеллектуальных систем управления электрическим транспортом // Автоматика, связь, информатика. 2025. № 10. С. 30-32.

References

1. An intelligent transport system is being developed in Tula. – URL: <https://www.digitalagetransport.ru/media/news/v-tule-razvivayut-intellektualnuyu-transportnuyu-sistemu/> (accessed: 19.05.2026).
2. Kuznetsov S.A., Nikolaev V.A. Organizational and technical aspects of the implementation of intelligent transport systems in urban agglomerations // Economics and Management. 2025. Vol. 31. No. 6. pp. 728-737.
3. Storozheva O.V., Dorokhin S.V., Cheprasova A.A. Smart roads of the future: a new generation infrastructure // Arctic: prospects, innovations and development of regions: IX International Arctic Summit (Moscow, 2025): Collection of Materials, Moscow, 2025, pp. 311-313.
4. Novikov A.N., Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Ulinets I.A. Detection and classification of dangerous maneuvers based on video data from traffic cameras // Scientific peer-reviewed journal Bulletin of SibADI. 2025. Vol. 22. No. 6. pp. 916-927.
5. Zhou H., Shtennikov D.G. Methods of traffic flow detection using computer vision for improving traffic light control // Collection of abstracts of the congress of young scientists. – SPb.: ITMO University, 2025. URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/15301> (date of access: 16.05.2026).
6. Baranov L.A., Safronov A.I., Sidorenko V.G. Development of Intelligent Electric Transport Control Systems // Automation, Communications, and Computer Science. 2025. No. 10. Pp. 30-32.

*Воронежский государственный
технический университет*

*Канд. тех. наук, доцент кафедры
строительства и эксплуатации автомо-
бильных дорог Ф.В. Матвиенко*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 732-43-03
e-mail: fmatvienko@yandex.ru*

*Канд. тех. наук, доцент кафедры строи-
тельства и эксплуатации автомобильных
дорог А.С. Строкин*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7 (915) 547-97-10
e-mail: alexmech23@gmail.com*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры химии
и химических технологий материалов
О.Б. Кукина*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 345-28-88
e-mail: u00136@vgasu.vrn.ru*

*Воронежский государственный лесотехни-
ческий университет имени Г.Ф. Морозова
Аспирант кафедры промышленного транс-
порта, строительства и геодезии*

Н.И. Шамарин

*Россия, г. Воронеж, тел. +7 (908) 135-87-76
e-mail: shnwr@mail.ru*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ной механики В.В. Волков*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7 (920) 442-02-51
e-mail: kotlac@yandex.ru*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ных конструкций оснований фундаментов
им. проф. Ю.М. Борисова С.Н. Золотухин*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7 (920) 229-96-80
e-mail: ser6812@yandex.ru*

Voronezh State

Technical University

*Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of the De-
partment of Automobile Road Construction and
Operation F.V. Matvienko*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 732-43-03
e-mail: fmatvienko@yandex.ru*

*Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of the De-
partment of Automobile Road Construction and
Operation A.S. Strokin*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (915) 547-97-10
e-mail: alexmech23@gmail.com*

*Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of the De-
partment of Chemistry and Chemical Materials
Technology O.B. Kukina*

*Russia, Voronezh, phone +7 (910) 345-28-88
e-mail: u00136@vgasu.vrn.ru*

*Voronezh State Forestry Engineering Universi-
ty named after G.F. Morozov*

*PhD student of the Department of Industrial
Transportation, Construction and Geodesy
N.I. Shamarin*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (908) 135-87-76
e-mail: shnwr@mail.ru*

*Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of the De-
partment of Civil Mechanics V.V. Volkov*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (920) 442-02-51
e-mail: kotlac@yandex.ru*

*Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of the De-
partment of Structural Structures of Foundations
named after Prof. Yu.M. Borisov*

*S.N. Zolotukhin
Russia, Voronezh, tel. +7 (920) 229-96-80
e-mail: ser6812@yandex.ru*

Ф.В. Матвиенко, А.С. Строкин, О. Б. Кукина, Н.И. Шамарин, В.В. Волков, С.Н. Золотухин

КОНЦЕПЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ОТ РАЗРУШЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ УКРЕПЛЕННЫХ ЦЕМЕНТОМ ДОРОЖНЫХ ОСНОВАНИЙ

В статье рассмотрен вопрос применения материалов от разрушенных зданий и сооружений для выполнения работ по устройству оснований дорожных одежд из укрепленных цементом материалов для ремонта и капитального строительства автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильные дороги, антропогенный грунт, укрепление грунтов, материал от сноса зданий и сооружений, цемент, прочность.

CONCEPT OF OBTAINING AND APPLYING MATERIALS FROM DESTROYED BUILDINGS AND STRUCTURES FOR CEMENT-STRENGTHENED ROAD BASES

The article discusses the use of materials from destroyed buildings and structures for the construction of road pavement bases made of cement-reinforced materials for the repair and major construction of highways.

Keywords: highways, anthropogenic soil, soil reinforcement, demolition material, cement, and strength.

В связи с проведением Специальной военной операции образуется большое количество материалов от разрушенных зданий и сооружений, которые необходимо либо утилизировать на специальных полигонах, либо рассмотреть возможность их повторного применения в дорожном строительстве.

В настоящее время в нормативных требованиях дорожной отрасли РФ недостаточным образом отражен вопрос о возможности применения материалов от сноса зданий и сооружений в виде боя кирпича, бетона и каменной кладки в дорожном строительстве. В нормативных документах отсутствуют четкие требования, определяющие физико-механические характеристики материалов от сноса зданий, требования к методам их испытаний, стоимости таких материалов, а также отсутствуют поправки на технологии выполнения дорожных работ и правилам их приемки. Все это вносит определенные трудности к возможности применения материалов от разрушенных зданий и сооружений в дорожном строительстве.

По действующим нормативным требованиям материалы от сноса зданий и сооружений попадают под классификацию ГОСТ 25100 «Грунты. Классификация» [5], в качестве антропогенного грунта.

В соответствии с [5] антропогенный грунт: Грунт, созданный человеком, образованный в результате естественно-исторического освоения территорий (культурный слой), твердые бытовые и промышленные отходы, искусственные материалы, являющиеся (ставшие) компонентами геологической среды.

Таким образом, материалы от сноса зданий по сути, ставшие компонентами геологической среды после их разрушения, и классифицированные в качестве антропогенных грунтов, можно применять в тех областях дорожного строительства, где возможно применение других видов грунтов [5]. При этом необходимо соблюдать требования к физико-механическим характеристикам, применяемых материалов для конкретной технологии выполнения дорожно-строительных работ.

Переработанные материалы от сноса зданий и сооружений, классифицированные как антропогенный грунт, в соответствии с требованиями ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог» [9], не требуют прохождения процедур обязательного декларирования, в соответствии с перечнем материалов, обязательных к декларированию, например таких как щебень или битум.

Одним из возможных областей применения материалов от сноса зданий и сооружений, в виде дробленого боя бетона и кирпича, классифицированного как антропогенный грунт, является их применение в основаниях дорожных одежд, укрепленных цементом. При этом получаемый конструктив, в зависимости от области его применения, не обязан обладать высокими показателями прочности, то есть достаточно внесение цемента от 3-4% для достижения минимальной прочности М10. Применение отходов от сноса зданий в основаниях дорожных одежд из укрепленных цементом грунтов и материалов [1-3] на дорогах регионального и местного значения III-IV категории позволит снизить стоимость дорожных работ. Уменьшит техногенную нагрузку человека на окружающую среду, в виде снижения необходимости утилизации материалов от разрушенных зданий на специализированных полигонах.

В настоящее время в РФ для выполнения дорожных работ по укреплению грунтов и каменных материалов цементами действуют основные нормативные документы: ГОСТ 23558 «СМЕСИ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫЕ И ГРУНТЫ, ОБРАБОТАННЫЕ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ВЯЖУЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ, ДЛЯ ДОРОЖНОГО И АЭРОДРОМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА» [4] и ГОСТ Р 70452 «ГРУНТЫ СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ И УКРЕПЛЕННЫЕ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ВЯЖУЩИМИ» [6].

При этом ГОСТ Р 70452 [4] указывает на возможность применения техногенных грунтов в качестве вторичных ресурсов для укрепления их цементом.

Основными техническими требованиями для материалов, полученных от сноса зданий и сооружений из бетона и кирпича, для устройства укрепленных цементом дорожных оснований, в соответствии с ГОСТ Р 70452 [4] и ГОСТ 23558 [6] являются:

1. Требования к гранулометрическому составу:

По ГОСТ 23558 [4] – размер частиц должен составлять не более 40 мм, при этом грунт или материал должен соответствовать требованиям по гранулометрическому составу.

По ГОСТ Р 70452 [6] размер частиц не должен превышать 45 мм, при этом частиц фракции от 31,5 до 45 мм должно быть не более 10 %;

2. Содержание гумусовых веществ должно быть не более 2-4% [4,6];

3. Содержание примесей гипса должно быть не более 10 % [4,6];

4. Содержание легкорастворимых солей сульфатов не должно превышать 2 %, а хлоридов - 4 % [4,6].

Указанным выше требованиям [4,6], материалы от разрушенных зданий и сооружений в виде боя кирпича, каменной кладки и бетона, будут соответствовать в абсолютном большинстве случаев. Основным вопросом применения материалов от разрушенных зданий и сооружений будет являться разработка технологии получения дробленого материала от боя стеновых материалов, бетона и кирпича с крупностью зерен до 45 (40) мм.

Для получения материалов от сноса зданий и сооружений требуемой фракции необходимо выполнение следующих технологических операций:

1. Разборка завалов разрушенного здания или сооружения с предварительной сортировкой пригодных материалов для последующей переработки и не пригодных материалов для их утилизации на специализированных полигонах.

2. Доставка и сортировка бетона, кирпича и каменных материалов на производственную площадку для последующей переработки.

3. Дробление бетона, кирпича и стеновых каменных материалов на дробилках до получения материала фракции до 45 (40) мм.

При этом в случае получения отдельных компонентов с фракцией свыше 45 (40) мм окончательное дробление можно осуществить на месте работ по устройству укрепленного цементом основания с помощью ресайклера.

Переработанные материалы от сноса зданий и сооружений, в виде дробленого бетона и кирпича для устройства укрепленных цементом оснований, можно применять как в чистом виде, так и при смешении их с природными грунтами, щебнями или щебеночно-песчаными смесями [8]. Возможность применения мало прочных материалов от разрушенных зданий и сооружений в виде замены ими 50% материала для обработанной цементом высокопрочной щебеночно-песчаной смеси доказана лабораторными испытаниями, выполненными на кафедре «Строительства и эксплуатации автомобильных дорог» ВГТУ [7]. Проведенные исследования по влиянию на укрепленные цементом основания комплексной модифицирующей добавки «Mador» [7], разработанной специалистами ВГТУ, доказали ее эффективность для предлагаемой технологии повторного применения материалов от сноса зданий и сооружений. Применение укрепленных грунтов на техногенных неустойчивых грунтах и склонах также подтверждают возможность устройства укрепленных цементом оснований автомобильных дорог с применением отходов от сноса зданий и сооружений [10-16].

Выводы

Разработка и внедрение технологий применения материалов повторного использования, полученных от разрушенных зданий и сооружений, позволит уменьшить антропогенную нагрузку человека на окружающую среду, а также дополнительно снизить стоимость выполнения дорожно-строительных работ.

Библиографический список

1. Безрук В.М. Еленович А.С. Дорожные одежды из укрепленных грунтов. М.: высшая школа, 1969. – 330 с.
2. Васильев А.П. Справочная энциклопедия дорожника. Т.П: Ремонт и содержание автомобильных дорог / А.П. Васильев, [и др.] – М.: Информавтодор, 2004. – 505 с.
3. Васильев Ю.М. Дорожные одежды из укрепленных материалов / Васильев Ю.М. Агафонцева В.П., Исаев В.С. и др. – М.: Транспорт, 1989. – 191 с.
4. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия: дата введения 2005. – М.: Стандартинформ, 2005. – 12 с.
5. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация: дата введения 01.01.2021. – М.: Стандартинформ, 2020. – 38 с.
6. ГОСТ Р 70452-2022. Грунты стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими. Общие технические условия: дата введения 01.01.2023. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – 20 с.
7. Матвиенко Ф. В. Разработка технологий применения отходов от сноса зданий для устройства укрепленных цементом оснований автодорог с использованием модификатора Mador / Подольский Вл. П., Матвиенко Ф. В., Быкова А. А., Авдеева Н. Ю. // Научный журнал строительства и архитектуры. - 2023. - № 4 (72). - С. 156-162.
8. СП 34.13330.2021. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*. Дата введения 10.09.2021. – М.: Минстрой России, 2021. – 97 с.
9. ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог».
10. Безобжиговые строительные материалы из отвалного фосфогипса / С. Н. Золотухин, О. Б. Кукина, А. А. Абраменко [и др.]. – Saarbrücken : LAP LAMBERT, 2020. – 160 с.
11. Волков, В. В. Использование теории агрегативной устойчивости дисперсных материалов при конструировании слоев дорожных одежд с заданными свойствами / В. В. Волков, О. А. Волокитина, О. Б. Кукина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2022. – № 2(66). – С. 78-86.
12. Кукина О. Б. Методология и эксперименты по проектированию грунтовых подушек на основе слабых грунтов / О. Б. Кукина, В. П. Волокитин, В. В. Волков [и др.] // Строительная механика и конструкции. – 2022. – № 4(35). – С. 82-91.
13. Кукина О. Б. Проектирование конструктивных слоев оснований фундаментов сооружений и дорожных одежд на модифицированных глинистых грунтах / О. Б. Кукина, О. А. Волокитина, В. В. Волков [и др.] // Строительная механика и конструкции. – 2022. – № 2(33). – С. 158-167.
14. Золотухин, С. Н. Факторы, сдерживающие внедрение строительных технологий замкнутого цикла / С. Н. Золотухин, О. Б. Кукина // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : Сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции, Сочи, 01–10 октября 2022 года / Под редакцией С.У. Увайсов. – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2022. – С. 372-375.
15. Волков В. В. Изменение и учет механических свойств конструктивных слоёв метаморфизированных глинистых грунтов при проектировании оснований фундаментов / В. В. Волков, В. П. Волокитин, С. Н. Золотухин [и др.] // Строительная механика и конструкции. – 2023. – № 2(37). – С. 160-170.

16. Патент № 2656656 C2 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, E02D 27/08. Способ объемной цементации грунтов : № 2015149374 : заявл. 17.11.2015 : опубл. 06.06.2018 / С. Н. Золотухин, А. А. Абраменко, О. Б. Кукина [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный технический университет".

References

1. Bezruk V.M. Elenovich A.S. Road construction from reinforced soils. Moscow: higher school, 1969. 330 p.
2. Vasiliev A.P. Reference encyclopedia of a road worker. Vol. II: Repair and maintenance of automobile and mobile roads / A.P. Vasiliev, [et al.] – M.: Informavtodor, 2004. – 505 p.
3. Vasiliev Yu.M. Road construction made of reinforced materials / Vasiliev Yu.M. Agafontseva V.P., Isaev V.S. et al. - Moscow: Transport, 1989. – 191 p.
4. GOST 23558-94. Mixtures of crushed stone-gravel-sand and soils treated with non-organic binders for road and airfield construction. Technical conditions: date of introduction 2005. Moscow: Standartinform, 2005. 12 p.
5. GOST 25100-2020. Soils. Classification: date of introduction 01.01.2021. – Moscow: Standartin-form, 2020. – 38 p.
6. GOST R 70452-2022. The soils are stabilized and reinforced with inorganic binders. General technical conditions: date of introduction 01.01.2023. – Moscow: Russian Institute of Standardization, 2022. – 20 p.
7. Matvienko F. V. Development of technologies for using demolition waste to create cement-reinforced road bases using the Mador modifier / Podolsky VI. P., Matvienko F. V., Bykova A. A., Avdeeva N. Yu. // Scientific Journal of Construction and Architecture. - 2023. - No. 4 (72). - Pp. 156-162.
8. SP 34.13330.2021. A set of rules. Highways. Updated revision of SNiP 2.05.02-85*. Date of introduction: 09/10/2021. Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2021. 97 p.
9. TR CU 014/2011 "Road Safety".
10. Non-fired building materials from landfill phosphogypsum / S. N. Zolotukhin, O. B. Kukina, A. A. Abramenko [et al.]. – Saarbrücken : LAP LAMBERT, 2020. – 160 p.
11. Volkov, V. V. The use of the theory of aggregative stability of dispersed materials in the design of layers of road clothing with specified properties / V. V. Volkov, O. A. Volokitina, O. B. Kukina // Scientific Journal of Construction and Architecture. – 2022. – № 2(66). – Pp. 78-86.
12. Kukina O. B. Methodology and experiments on designing groundwater based on weak soils / O. B. Kukina, V. P. Volokitin, V. V. Volkov [et al.] // Structural mechanics and structures. – 2022. – № 4(35). – Pp. 82-91.
13. Kukina O. B. Kukina, O. A. Volokitina, V. V. Volkov [Designing structural layers of foundations of buildings and road clothes on modified clay soils] // Construction mechanics and structures. – 2022. – № 2(33). – Pp. 158-167.
14. Zolotukhin, S. N. Factors constraining the introduction of closed-loop construction technologies / S. N. Zolotukhin, O. B. Kukina // Innovative, information and communication technologies : Proceedings of the XIX International Scientific and Practical Conference, Sochi, October 01-10, 2022 / Edited by S.U. Uvaisov. – Moscow: Association of Graduates and Employees of the VVIA named after Professor N.E. Zhukovsky for the promotion of the preservation of the historical and Scientific heritage of the VVIA named after Professor N.E. Zhukovsky, 2022. – pp. 372-375.
15. Volkov V. V., Volokitin V. P., Zolotukhin S. N. Modification and consideration of the mechanical properties of structural layers of metamorphosed clay soils in the design of foundations / V. V. Volkov, Volokitin V. P., Zolotukhin S. N. [et al.] // Construction mechanics and structures. – 2023. – № 2(37). – Pp. 160-170.
16. Patent No. 2656656 C2 Russian Federation, IPC E02D 3/12, E02D 27/08. Method of volumetric cementation of soils : No. 2015149374 : application 17.11.2015 : published 06.06.2018 / S. N. Zolotukhin, A. A. Abramenko, O. B. Kukina [et al.] ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University- National Technical University".

*Дальневосточный федеральный
университет (ДВФУ)
Магистрант кафедры архитектуры
и дизайна Политехнического института
О.В. Талько
Россия, г. Владивосток
e-mail: aleksandrova0354@yandex.ru
Дальневосточный федеральный
университет (ДВФУ)
Доцент Департамента архитектуры
и дизайна Политехнического института
С.Е. Тлустая
Россия, г. Владивосток
e-mail: tlustaya.se@dvfu.ru*

*Far Eastern Federal
University (FEFU)
Master's Student, Department of Architecture
and Design, Polytechnic Institute
O.V. Talko
Russia, Vladivostok
e-mail: aleksandrova0354@yandex.ru
Far Eastern Federal
University (FEFU)
Associate Professor, Department of Architec-
ture and Design, Polytechnic Institute
S.E. Tlustaya
Russia, Vladivostok
e-mail: tlustaya.se@dvfu.ru*

О.В. Талько, С.Е. Тлустая

СОВРЕМЕННОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПОРТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ Г. ВЛАДИВОСТОКА

В статье исследуются проблемы высокого ресурсопотребления и экологической нагрузки при строительстве и эксплуатации спортивных объектов во Владивостоке. Актуальность работы обусловлена необходимостью развития спортивной инфраструктуры, минимизирующей антропогенное воздействие на уникальную природную среду региона. Цель исследования – анализ современных экологических практик и разработка на их основе комплексных рекомендаций для проектирования спортивных объектов, адаптированных к местным ландшафтным и климатическим условиям.

Рассмотрены ключевые архитектурно-планировочные и инженерно-технические решения: террасирование, энергоэффективное остекление, рекуперация тепла, использование возобновляемых источников энергии, применение местных экологичных материалов, системы сбора дождевой воды и принцип функциональной адаптивности. В работе использованы анализ научных публикаций, систематизация архитектурно-технических решений и изучение зарубежного опыта проектирования спортивных сооружений. В результате сформированы рекомендации по формированию спортивной инфраструктуры, направленной на снижение антропогенного воздействия на природу, повышение энергоэффективности и создание комфортной среды для населения.

Ключевые слова: устойчивое развитие, экологическое проектирование, энергоэффективность, спортивные объекты, энергосберегающие технологии, экологичные материалы, пассивные технологии.

CONTEMPORARY ENVIRONMENTAL DESIGN OF SPORTS FACILITIES IN VLADIVOSTOK

The article examines the issues of high resource consumption and environmental impact during the construction and operation of sports facilities in Vladivostok. The relevance of the work is driven by the need to develop sports infrastructure that minimizes anthropogenic impact on the region's unique natural environment. The aim of the study is to analyze modern environmental practices and develop comprehensive recommendations for designing sports facilities adapted to local landscape and climatic conditions.

Key architectural, planning, and engineering solutions are considered: terracing, energy-efficient glazing, heat recovery systems, the use of renewable energy sources, application of local eco-friendly materials, rainwater collection systems, and the principle of functional adaptability. The research is based on the analysis of scientific publications, systematization of architectural and technical solutions, and a review of international best practices in sports facility design. As a result, recommendations are formulated for developing sports infrastructure aimed at reducing environmental impact, increasing energy efficiency, and creating a comfortable environment for the population.

Keywords: sustainable development, ecological design, energy efficiency, sports facilities, energy-saving technologies, eco-friendly materials, passive technologies.

Введение

В современном мире спорт вышел за рамки исключительно профессиональной деятельности, превратившись в ключевой элемент формирования здорового образа жизни населения. Важную роль в этом играет интеграция спортивных объектов в городскую среду. Современные проекты спортивных комплексов нацелены не только на функциональность и эстетику, но и на минимизацию экологического следа на всех этапах – от выбора материалов, строительства до повседневной эксплуатации.

Актуальность исследования приобретает особую значимость в условиях уникальных городов, таких как Владивосток. Крупный приморский город со сложными ландшафтно-климатическими условиями, остро нуждается в развитии качественной и экологичной спортивной инфраструктуры. Следовательно, применение экологических подходов при проектировании и строительстве необходимо для обеспечения энергоэффективности, долговечности и комфорта пользователей.

Основной целью исследования является анализ современных практик применения экологических решений и технологий при проектировании спортивных объектов и разработка рекомендаций по их адаптации во Владивостоке.

Анализ научной литературы показывает, что исследования по устойчивому строительству спортивных объектов носят общий характер и не учитывают специфику дальневосточного региона. В работах российских авторов рассмотрены базовые принципы «зеленого» строительства, однако их прямое применение во Владивостоке ограничено из-за уникальных ландшафтно-климатических условий. Таким образом, новизна данного исследования заключается в адаптации современных экологических решений при проектировании спортивных объектов к условиям Владивостока.

В рамках данного исследования была использована информационная база, включающая анализ открытых источников, таких как научные публикации, статьи, интернет-ресурсы, посвященные принципам устойчивой архитектуры и энергоэффективности. Был проведен анализ зарубежного опыта проектирования спортивных объектов (на примере сооружений в Норвегии и Германии). На базе полученных данных выполнена систематизация ключевых архитектурно-планировочных и инженерно-технических решений, что позволило разработать комплекс адаптированных рекомендаций для специфических ландшафтно-климатических условий г. Владивостока. Данная работа имеет практическую значимость для формирования экологичной и энергоэффективной спортивной инфраструктуры в городах со сложными природно-климатическими условиями.

Устойчивое строительство

Одной из наиболее актуальных проблем в области масштабного строительства выступает интенсивное потребление природных ресурсов и увеличение экологического следа. Производство строительных материалов (бетона, стали, стекла и др.) связано с большими энергозатратами и значительными выбросами парниковых газов в атмосферу. Важной проблемой также становится потребление энергии и водных ресурсов при эксплуатации спортивных объектов. Экологически ориентированные, устойчивые строительные технологии приобретают особую важность, способствуя сохранению природной среды, повышению энергоэффективности объектов и обеспечению комфортного и безопасного пространства для посетителей и персонала [1].

Определение «устойчивое развитие» появилось в 1980-е годы, когда была создана Международная комиссия по окружающей среде и развитию (МКОСР). Устойчивое развитие в архитектуре (см. рисунок 1) основывается на проектировании, которое учитывает весь жизненный цикл объекта. Это подразумевает использование экологически чистых строительных материалов, энергоэффективных технологий, пространственную организацию объекта для снижения ресурсопотребления и негативного воздействия на природу без ущерба для экономической эффективности [2].

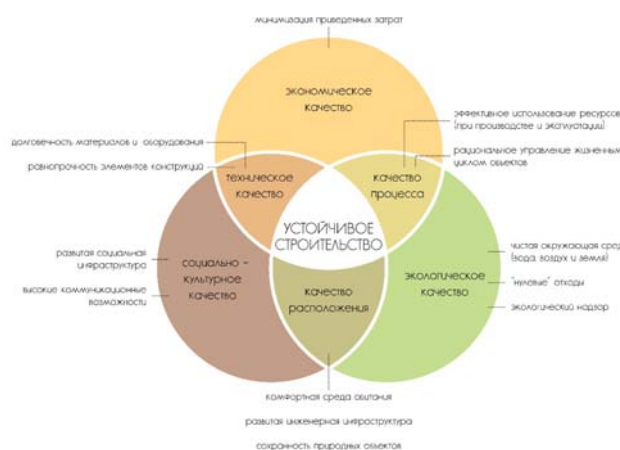


Рис. 1. Основные компоненты устойчивого строительства

Ключевые принципы устойчивого строительства спортивных объектов, минимизирующие антропогенное воздействие на окружающую среду, включают в себя:

1. Интеграцию в окружающую среду (гармоничное вписывание в ландшафт с максимальным использованием рельефа местности, учёт микроклимата и природных условий для снижения энергозатрат);

2. Ресурсную эффективность (применение энергосберегающих технологий, экологически безопасных и возобновляемых материалов);

3. Функциональную устойчивость (ориентация на долговечность, возможность трансформации и увеличение доли рекреационных пространств) [1, 3, 4].

Адаптация к условиям Владивостока

Уникальные условия Владивостока, характеризующиеся сложным рельефом, муссонным климатом с сезонным изменением ветров и осадков, а также близостью моря, требуют особого подхода, основанного на интеграции архитектуры в существующий ландшафт [5]. Это позволяет минимизировать земляные работы и снизить антропогенную нагрузку на природные экосистемы.

Для формирования архитектурно-пространственной среды в условиях сложного рельефа наиболее эффективным методом является террасирование (см. рисунок 2). Данный способ, представляющий собой создание системы горизонтальных террас, не только позволяет рационально использовать склоны для размещения трибун, открытых спортивных площадок и других функциональных зон, но и решает важные инженерно-экологические задачи: стабилизацию грунта, создание естественной ветрозащиты и предотвращение водной эрозии почв и оползней, что особенно актуально для Владивостока в период обильных летних муссонных дождей [6, 7].

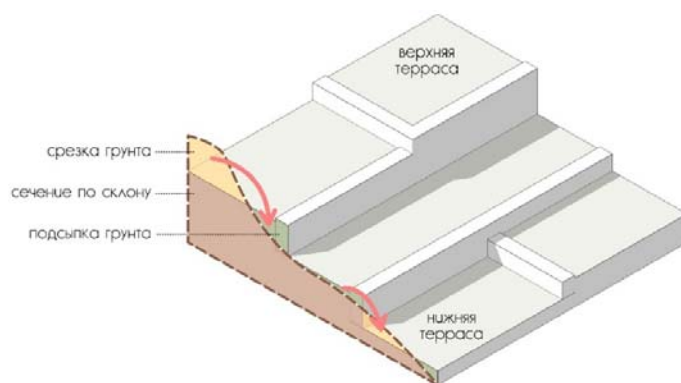


Рис. 2. Схема террасирования участка на склоне

Характерные для Владивостока сильные ветра и высокая влажность открывают возможности для энергоэффективного проектирования. Важнейшей задачей становится разработка архитектурных решений, обеспечивающих естественную вентиляцию летом и надежную ветрозащиту зимой. Оптимальная ориентация зданий и грамотное расположение оконных проемов позволяют использовать силу ветра для аэрации, сокращая затраты на механическое кондиционирование.

Южное расположение города обеспечивает интенсивную инсоляцию, особенно в зимний период. Правильная архитектурно-пространственная организация объекта способствует значительному снижению энергопотребления. Одним из ключевых методов является применение энергоэффективного остекления [8], в частности, низкоэмиссионного стекла с адаптивными свойствами (см. рисунок 3). В условиях слабой зимней освещенности его прозрачность повышается, способствуя пассивному солнечному обогреву и уменьшая нагрузку на систему отопления; летом, наоборот, снижается, предотвращая перегрев помещений. Данная технология, интегрированная в архитектурно-пространственную организацию здания, способствует экономии энергоресурсов, сокращая теплопотери зимой на 15–20% и снижая затраты на кондиционирование летом [9].

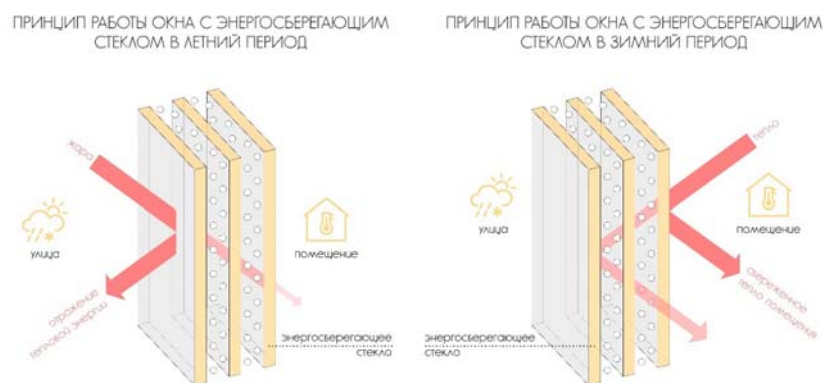


Рис. 3. Принцип работы энергосберегающего стекла

На этапе проектирования для снижения энергозатрат применяют рекуперацию тепла в системах вентиляции (см. рисунок 4). Удаляемый из помещения тёплый воздух через теплообменник подогревает холодный приточный, что снижает нагрузку на систему отопления. Используются различные типы систем, такие как роторные или с промежуточным теплоносителем [9, 10].

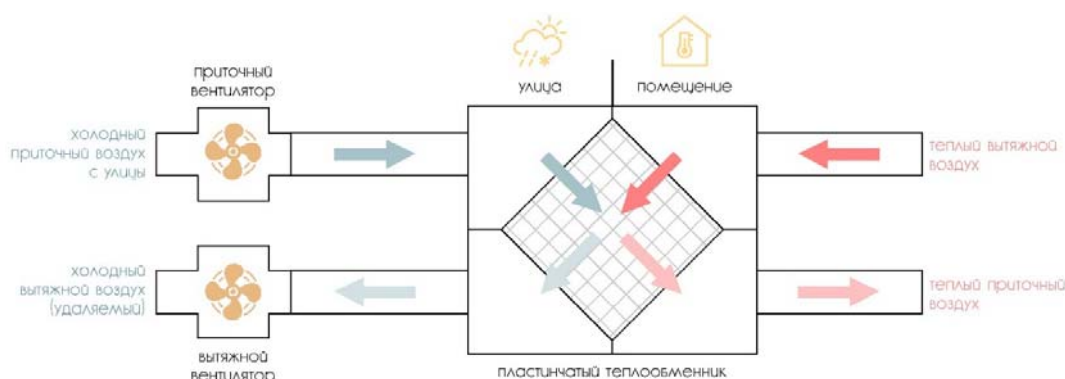


Рис. 4. Принцип работы вентиляции с рекуперацией

Обильные осадки требуют создания многоуровневых систем сбора и отвода дождевой воды. Данные системы могут быть органично интегрированы в террасную структуру спортивного объекта, а собранная вода – использоваться для технических целей и полива зеленых насаждений. Рациональное водопользование позволяет снизить нагрузку на централизованные системы водоснабжения.

Таким образом, формирование спортивной инфраструктуры Владивостока должно органично использовать такие природные факторы, как рельеф и климат. Это позволит снизить нагрузку на экологию и создаст комфортное пространство для занятий спортом, гармонирующее с дальневосточным ландшафтом.

Важным аспектом экологического проектирования является применение экологических материалов, которые снижают вредное воздействие на природу. Приоритет отдается материалам из возобновляемого природного сырья, оказывающие минимальное негативное воздействие на окружающую среду от добычи сырья до его утилизации [11].

В условиях Дальневосточного региона важным становится использование местных ресурсов, например, клееного бруса из приморской лиственницы, что не только снижает транспортные расходы, но и обеспечивает долговечность конструкции, устойчивость к влаге и гниению [12]. Также, к экологичным материалам можно отнести керамические блоки, древесно- и целлюлозно-волоконистые плиты (ДВП, ЦВП), биокompозиты. Для наружной отделки можно использовать древесно-композитные панели, производимые из древесных отходов и переработанного пластика. Этот материал отличается высокой долговечностью, устойчивостью к атмосферным воздействиям и не требует регулярного обслуживания [1].

Для создания комфортного микроклимата и улучшения качества воздуха в условиях плотной городской застройки применяются «зеленые» кровли (частично или полностью засаженные растениями). Они не только способствуют снижению температуры внутри здания летом и теплопотерь зимой, но и эффективно решают задачу управления ливневыми стоками, актуальную для Владивостока [13, 14].

При проектировании уличных спортивных площадок следует также применять натуральные материалы: древесина и растения для спортивного оборудования и малых архитектурных форм, природные сыпучие материалы (песок, гравий, газон, пилки и др.) – для покрытий [15].

Современные спортивные объекты проектируются по принципу функциональной адаптивности, который обеспечивает возможность изменения структуры сооружения в соответствии с меняющимися потребностями пользователей. Данный подход реализуется за счет проектирования универсальных, трансформируемых пространств, способных быстро менять конфигурацию для проведения мероприятий различного формата – от спортивных соревнований до концертов, выставок и фестивалей. Примерами таких решений могут быть: мобильные и раздвижные трибуны, звукоизолирующие раздвижные перегородки, быстросъемное и трансформируемое напольное покрытие, а также модульные конструкции [16, 17]. Внедрение принципов адаптивности повышает экономическую устойчивость объектов за счет их многозадачности и максимальной загрузки, а также усиливает социальную роль комплекса, преобразуя его в многофункциональный общественный центр. Для Владивостока, испытывающего дефицит качественных всесезонных общественных пространств, это является актуальным направлением.

Зарубежный опыт проектирования

Успешным примером комплексного подхода к энергосбережению и интеграции в ландшафт выступает водно-спортивный центр «Холмен» (архитектурное бюро ARKIS) в Норвегии (см. рисунок 5). Ключевой архитектурной особенностью проекта стало устройство эксплуатируемой зеленой кровли на всей площади здания. Это позволило органично вписать здание в окружающий ландшафт прибрежной рекреационной зоны.

Энергоэффективность объекта обеспечивается гибридной системой, использующей возобновляемые источники энергии. Она включает в себя 650 кв.м. солнечных батарей и 15 геотермальных скважин, которые обеспечивают теплоснабжение объекта в холодный период и аккумулируют избыточное тепло здания в летние месяцы [18, 19].

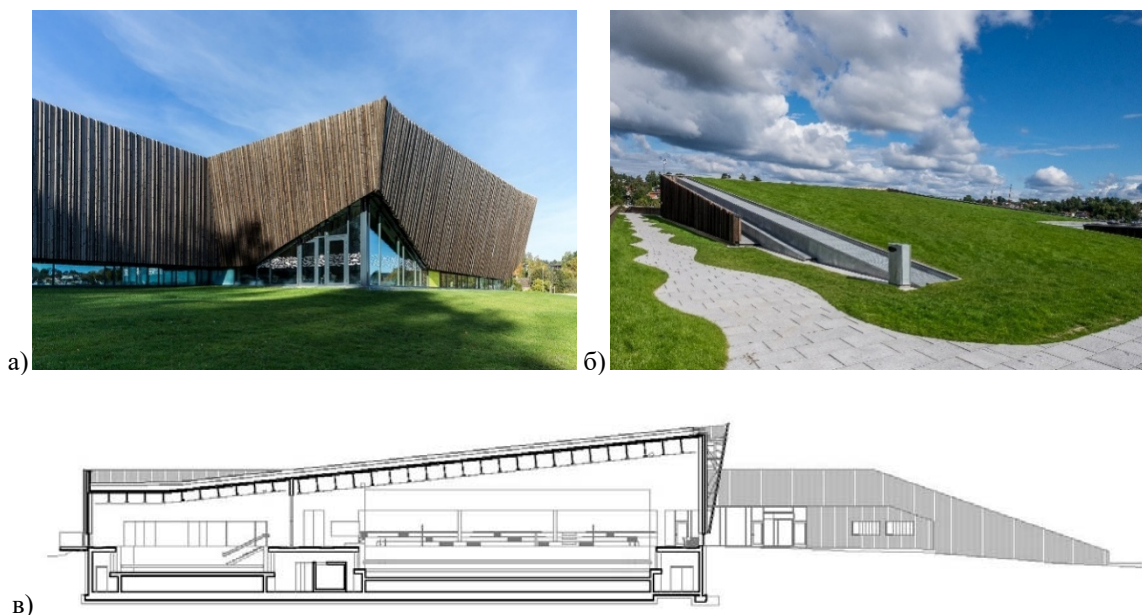


Рис. 5. Энергоэффективный водно-спортивный центр (ARKIS architects, Норвегия):
а) фотография фасада; б) фотография кровли; в) разрез здания

В спортивном комплексе «Лентпарк» в Кельне, Германия от бюро SCHULITZ Architekten (см. рисунок 6) под одной крышей объединены ледовая арена, бассейны и сауны. Его главной архитектурной идеей стала полностью прозрачная треугольная форма, которая объединяет различные зоны как с функциональной, так и с эстетической точки зрения.

Архитекторы внедрили инновационные решения в области энерго- и водоснабжения объекта. Избыточное тепло, вырабатываемое холодильными установками ледовой арены, используется для подогрева воды в бассейнах и отопления помещений сауны. Дополнительную экономию энергоресурсов обеспечивает система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла, эффективность которой превышает 85%. Водоснабжение комплекса частично обеспечивается за счёт собственной скважины, расположенной на территории комплекса. Кровля здания оснащена солнечными батареями, генерирующие дополнительную электроэнергию.

Фасадная система выполнена по двухслойному принципу. Внутренний остеклённый контур обеспечивает максимальную инсоляцию, а внешний слой, состоящий из светоотражающих стальных панелей, выполняет функцию солнцезащиты. Такое решение помогает сохранять прохладу внутри помещений летом и предотвращает появление нежелательных бликов [20].

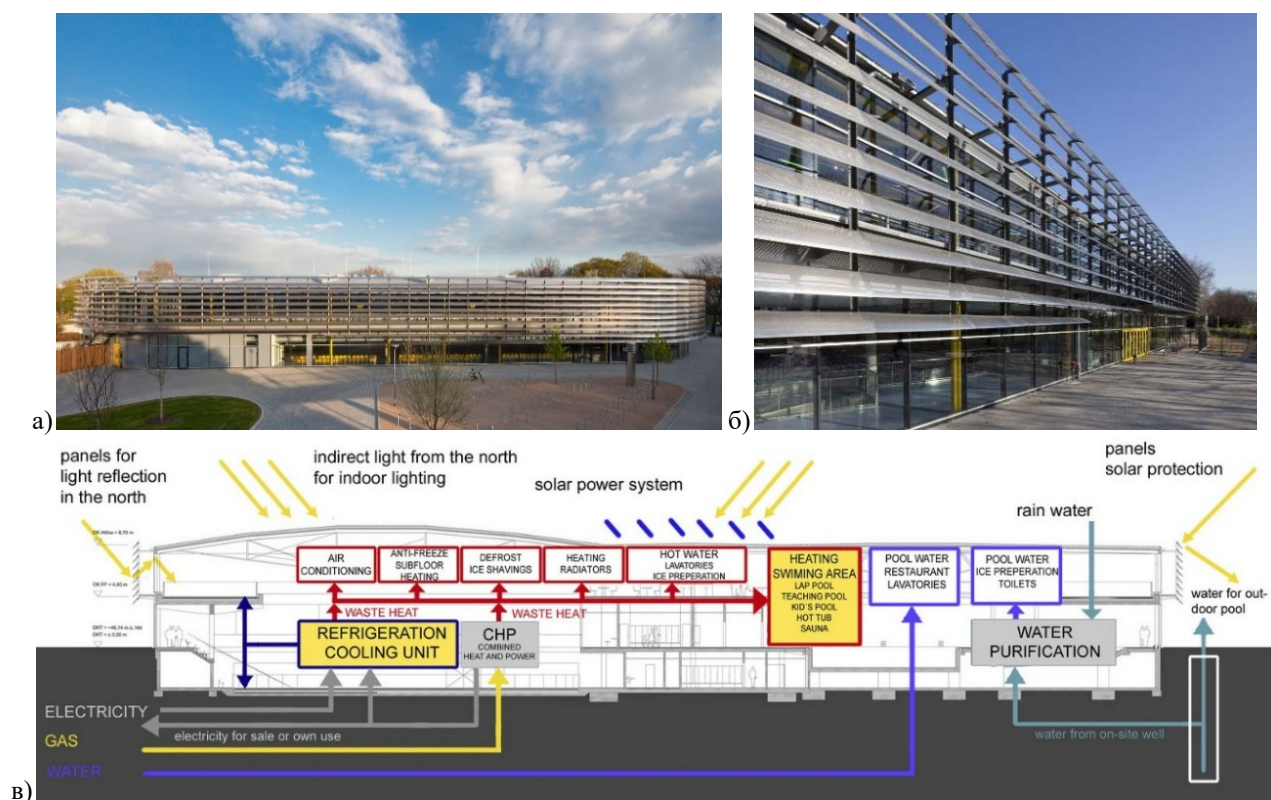


Рис. 6. Спортивный комплекс «Лентпарк» (SCHULITZ Architekten, Кельн, Германия):
а) фотография фасада; б) фотография фасада; в) разрез здания

Заключение

Проведенное исследование подтверждает актуальность применения принципов устойчивого проектирования при формировании спортивной инфраструктуры Владивостока. Сложный рельеф, муссонный климат, высокая влажность и интенсивная ветровая нагрузка диктуют необходимость комплексного архитектурно-планировочного подхода при проектировании и строительстве.

На основе проведенного анализа архитектурно-планировочных и инженерно-технических решений, направленных на минимизацию экологического следа, сформулированы предложения по их адаптации к местным условиям:

1. Ландшафтная интеграция, в частности, террасирование позволяет не только рационально использовать склоны, но и решать инженерно-экологические задачи (стабилизация грунтов, борьба с эрозией), снижая объемы земляных работ и сохраняя природный ландшафт;

2. Энергоэффективные решения, основанные на природно-климатических условиях Владивостока, позволяют существенно сократить зависимость объектов от внешних энерго-ресурсов (ориентация зданий, естественная вентиляция, технологии рекуперации тепла, низкоэмиссионное остекление с адаптивными свойствами, возобновляемые источники энергии);

3. Использование местных экологичных материалов позволяет снизить транспортные расходы и углеродный след;

4. Внедрение принципов функциональной адаптивности преобразует спортивный объект в многофункциональный общественный центр, что повышает его социальную значимость и экономическую устойчивость.

Таким образом, реализация предложенного комплекса мер при формировании спортивной инфраструктуры Владивостока позволит не только минимизировать негативное антропогенное воздействие на уникальную природу Дальнего Востока, но и создаст современную, комфортную среду для занятий спортом.

Библиографический список

1. Павлов К.С., Олифер А.С., Казиахмедов А.М. Инновационные технологии в экологически устойчивом строительстве спортивных объектов // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2023. № 7-1. С. 87-92.
2. Шамаева Т.В., Беленя И.М. Основы устойчивого развития в архитектуре: учебно-методическое пособие. — Москва: МИСИ – МГСУ, 2022. 43 с. — URL: <http://lib.mgsu.ru>.
3. Джумадурдыев Т. М., Керимов Б. М., Атаев Я. Ё., Мухамметвелиев Ч. Б. Концепция устойчивого проектирования и её влияние на архитектуру // Международный научный журнал «Инновационная наука». 2024. №12-1-2. С. 202-208.
4. Некрасова М.А., Мохов А.И., Жолобов О.В., Латышев К.В. Экологическое переустройство спортивных сооружений // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2016. Том 3, №2.
5. Лицкевич В.К., Конова Л.И. Учет природно-климатических условий местности в архитектурном проектировании: учебно-методические указания к курсовой расчетно-графической работе. — Москва: МАРХИ, 2011. — 44 с.
6. Горбунова В.П., Гильманова А.Р. Ландшафтное обустройство участков на склонах и их укрепление // Science Time. 2017. С. 119–125.
7. Захарочкина А. А., Скопинцев А. В. Архитектурно-ландшафтное формирование спортивно- оздоровительных центров на рельефе в Ростове-на-Дону // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. — Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ» 2019. № 3 (29). С. 95–100.
8. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения – Иваново: ПресСто, 2016. – 276 с.
9. Кравченко Д.В. Применение современных энергосберегающих и энергоэффективных технологий при строительстве и эксплуатации спортивных объектов // Актуальные проблемы энергетики. СНТК-73. 2017. С. 593-597.
10. Тарасенко В.Н., Слободянский М.А. Энергосберегающие технологии в проектировании и строительстве // Вектор ГеоНаук. 2020. Т.3. №4. С. 21-27. DOI: 10.24411/2619-0761-202010039.

11. Кашина И.В., Левенко А.Д., Самойлова А.Ю. Проблема экологичности строительных материалов. Анализ жизненного цикла зданий и сооружений // Строительство и технологическая безопасность. 2017. № 8(60). С. 7-13.
12. Шакирьянова Н. Д., Тлустая С. Е. Экологичное благоустройство городских пространств в условиях Приморского края // Научный журнал «Молодой ученый». 2023. № 5 (452). С. 44-49.
13. Корниенко С.В., Попова Е.Д. «Зеленое» строительство в России и за рубежом // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №4 (55). С. 67-93.
14. Roche P.L., Berardi U. Comfort and energy savings with active green roofs // Energy and Buildings. 2014, no.82, pp. 492–504.
15. Бекар, Е. Е. Федосенко Е. Р. Экологические подходы при проектировании и строительстве спортивных площадок // Инженерная экология: сборник материалов студенческой научно-технической конференции 23–24 апреля 2025 г. – Минск: БНТУ, 2025. С. 42-47.
16. Аль дарф Бушра, Перькова М.В., Коврижкина О.В. Современные тенденции в проектировании и строительстве спортивных сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №1. С. 62-67.
17. Янковская Ю. С., Федорова О. В. Концепция адаптивности спортивного сооружения // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. №3. С. 70-74.
18. Holmen Aquatics Center. Archello [Электронный ресурс]. URL: <https://archello.com/project/holmen-aquatics-center>.
19. Зубкова Я.О., Фахрутдинова И.А. Способы сокращения энергопотребления в архитектуре современных спортивных центров // Известия КГАСУ. 2018. №2(44). С.67-77.
20. Lentpark, Cologne. Schulitz architekten [Электронный ресурс]. URL: <https://www.schulitz.de/en/lentpark-cologne/>.

References

1. Pavlov K.S., Olifer A.S., Kaziakhmedov A.M. Innovatsionnie tekhnologii v ekologicheski ustoichivom stroitelstve sportivnykh obektov [Innovative technologies in environmentally sustainable construction of sports facilities]. Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law]. 2023. No. 7-1. Pp. 87-92. (rus).
2. Shamayeva T.V., Belenya I.M. Osnovy ustoychivogo razvitiya v arkhitekture: uchebno-metodicheskoye posobiye [Fundamentals of sustainable development in architecture: an educational and methodological guide]. — Moscow: MISI — MGSU. 2022. 43 p. — URL: <http://lib.mgsu.ru>. (rus).
3. Dzhumadurdyev T. M., Kerimov B. M., Atayev Ya. E., Mukhammetveliyev Ch. B. Kontseptsiya ustoychivogo proyektirovaniya i yeye vliyaniye na arkhitekturu [The concept of sustainable design and its impact on architecture]. Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal «Innovatsionnaya nauka» [International Scientific Journal «Innovative Science»]. 2024. No. 12-1-2. Pp. 202-208. (rus).
4. Nekrasova M.A., Mokhov A.I., Zholobov O.V., Latyshev K.V. Ekologicheskoye pereustroystvo sportivnykh sooruzheniy [Environmental reconstruction of sports facilities]. Internet-zhurnal «Otkhody i resursy» [Russian journal of resources, conservation and recycling]. 2016. Vol. 3. No. 2. (rus).
5. Litskevich V.K., Konova L.I. Uchet prirodno-klimaticheskikh usloviy mestnosti v arkhitekturnom proyektirovanii: uchebno-metodicheskiye ukazaniya k kursovoy raschetno-graficheskoy rabote [Consideration of the natural and climatic conditions of the area in architectural design: educational and methodological guidelines for the course calculation and graphic work]. — Moscow: MArchI. 2011. 44 p. (rus).
6. Gorbunova V.P., Gil'manova A.R. Landshaftnoye obustroystvo uchastkov na sklonakh i ikh ukrepleniye [Landscaping of the slopes and their reinforcement]. Science Time. 2017. Pp. 119–125. (rus).

7. Zakharochkina A. A., Skopintsev A. V. Arkhitekturno-landshaftnoye formirovaniye sportivno- ozdorovitelnykh tsentrov na relyefe v Rostove-na-Donu [Architectural and landscape formation of sports and health centers on relief in Rostov-on-don]. *Inzhenerno-stroitelnyi vestnik Prikaspiya: nauchno-tekhnicheskii zhurnal* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region: scientific and technical journal]. — Astrakhan: GAOU JSC VO «AGASU». 2019. No. 3 (29). Pp. 95–100. (rus).
8. Aloyan R.M., Fedosov S.V., Oparina L.A. Energoeffektivnyye zdaniya – sostoyaniye, problemy i puti resheniya [Energy-efficient buildings - status, problems and solutions]. — Ivanovo: PresSto. 2016. 276 p. (rus).
9. Kravchenko D.V. Primeneniye sovremennykh energosberegayushchikh i energoeffektivnykh tekhnologiy pri stroitelstve i ekspluatatsii sportivnykh ob'yektov [The use of modern energy-saving and energy-efficient technologies in the construction and operation of sports facilities]. *Aktualnyye problemy energetiki. SNTK-73* [Actual problems of energy. SNTK-73]. 2017. Pp. 593-597. (rus).
10. Tarasenko, V.N., Slobodyansky, M.A. Energosberegayushchiye tekhnologii v proyektirovanii i stroitelstve [Energy-saving technology in design and construction]. *Vektor GeoNauk* [Vector of Geosciences]. 2020. No. 3(4). Pp. 21-27. DOI: 10.24411/2619-0761-2020-10039. (rus).
11. Kashina I.V., Levenko A.D., Samoilova A.Y. Problema ekologichnosti stroitelnykh materialov. Analiz zhiznennogo tsikla zdaniy i sooruzheniy [The problem of environmental building materials. analysis of the life cycle of buildings and facilities]. *Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost* [Construction and industrial safety]. 2017. No 8(60). Pp. 7-13. (rus).
12. Shakiryanova N. D., Tlustaya S. E. Ekologichnoye blagoustroystvo gorodskikh prostranstv v usloviyakh Primorskogo kraya [Eco-friendly improvement of urban spaces in the conditions of Primorsky krai]. *Nauchnyy zhurnal «Molodoy uchenyy»* [Scientific journal «Young Scientist»]. 2023. No. 5 (452). Pp. 44-49. (rus).
13. Korniyenko S.V., Popova E.D. «Zelenoye» stroitelstvo v Rossii i za rubezhom [“Green” construction in Russia and abroad]. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy* [Construction of unique buildings and structures]. 2017. No. 4 (55). Pp. 67-93. (rus).
14. Roche P.L., Berardi U. Comfort and energy savings with active green roofs. *Energy and Buildings*. 2014. No.82. Pp. 492–504.
15. Bekar. E. E. Fedosenko E. R. Ekologicheskiye podkhody pri proyektirovanii i stroitelstve sportivnykh ploshchadok [Environmental approaches in the design and construction of sports grounds]. *Inzhenernaya ekologiya: sbornik materialov studencheskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii 23–24 aprelya 2025* [Engineering Ecology: collection of materials of the student scientific and technical conference on April 23-24, 2025]. — Minsk: BNTU. 2025. Pp. 42-47. (rus).
16. Al darf Boushra, Kovrizhkina O.V., Perkova M.V. Sovremennyye tendentsii v proyektirovanii i stroitelstve sportivnykh sooruzheniy [Modern trends in the design and construction of sports facilities]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova* [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. 2016. No.1. Pp. 62-67. (rus).
17. Yankovskaya Yu.S., Fedorova O.V. Kontseptsiya adaptivnosti sportivnogo sooruzheniya [The concept of adaptability of a sports facility]. *Akademicheskiiy vestnik UralNIIproyekt RAASN* [Academic Bulletin of UralNIIproyekt RAASN]. 2013. No.3. Pp. 70-74. (rus).
18. Holmen Aquatics Center. Archello. [Online]. URL: <https://archello.com/project/holmen-aquatics-center>.
19. Zubkova Y.O., Fakhrutdinova I.A. Sposoby sokrashcheniya energopotrebleniya v arkhitekture sovremennykh sportivnykh tsentrov [Ways to reduce energy consumption in the architecture of modern sports centers] // *Izvestiya KGASU* [News of the KSUAE]. 2018. No. 2(44). Pp. 67-77. (rus).
20. Lentpark, Cologne. Schultz architekten. [Online]. URL: <https://www.schulitz.de/en/lentpark-cologne/>.

МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

УДК 629.488.27

*Воронежский государственный
технический университет
Студенты дорожно-транспортного
факультета
И.О. Вдовин, Н.С. Фомин.
Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ной техники и инженерной механики имени
профессора Н.А. Ульянова
Р.А. Жилин
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 277-01-29
e-mail: razhilin@yandex.ru*

*Voronezh State
Technical University
Students of the Faculty of Road Transport
Faculty
I.O. Vdovin, N.S. Fomin.
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the chair
construction machinery and engineering me-
chanics of a name of professor N.A. Ulyanov
R.A. Zhilin
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 277-01-29
e-mail: razhilin@yandex.ru*

И.О. Вдовин, Н.С. Фомин, Р.А. Жилин

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СБОРОЧНО-РАЗБОРОЧНЫХ РАБОТ ПРИ РЕМОНТЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В статье проведён анализ конструктивных особенностей стендов, применяемых при разборке и сборке двигателей внутреннего сгорания, а также трансмиссионных узлов. Изучены достоинства и недостатки актуальных моделей, что служит базой для создания усовершенствованной конструкции стенда. Работа нацелена на повышение эффективности ремонта транспортных средств. Особое внимание уделено применению оборотных стендов (кантователей).

Ключевые слова: ремонт, сборочно-разборочные работы, кантователь, оборотный стенд.

I.O. Vdovin, N.S. Fomin, R.A. Zhilin

DEVELOPMENT OF A STAND FOR ASSEMBLY AND DISASSEMBLY WORK DURING THE REPAIR OF VEHICLES

The article analyzes the design features of the stands used in the disassembly and assembly of internal combustion engines, as well as transmission units. The advantages and disadvantages of current models have been studied, which serves as the basis for creating an improved stand design. The work is aimed at improving the efficiency of vehicle repairs. Special attention is paid to the use of turntable stands (cantilevers).

Keywords: repair, assembly and disassembly, tilter, reversible stand.

Рост грузопотока и жесткие временные рамки выполнения задач ужесточают требования к качеству обслуживания и ремонта транспортных средств. Увеличение числа ремонтов, усложнение конструкции машин и оборудования, а также развитие технологий ремонта диктуют необходимость постоянного обновления ремонтной базы и реконструкции действующих мощностей. Качество ремонта напрямую зависит от используемого оборудования и технологий. Поэтому совершенствование ремонтного оснащения является актуальной задачей.

Рассматриваемый стенд представляет собой специализированное технологическое оборудование, основным функциональным назначением которого является выполнение полного цикла сборочно-разборочных операций с двигателями внутреннего сгорания. В отличие от простых подставок, данная конструкция является сложным агрегатом, объединяющим в своей компоновке два ключевых функциональных узла. Первый из них отвечает за надежную фиксацию силового агрегата в заданном положении, исключая его самопроизвольное смещение в процессе работы. Второй механизм представляет собой поворотную систему, которая позволяет с легкостью изменять ориентацию двигателя в вертикальной плоскости, обеспечивая тем самым удобный доступ к различным его узлам и деталям.

Важно отметить, что работа обоих указанных механизмов базируется на общем кинематическом принципе. Исходным моментом здесь является мускульное усилие оператора, прикладываемое к специальной рукоятке. Это усилие приводит во вращение ведущий вал. Далее в работу вступает шпоночное соединение, которое выступает в роли передаточного звена: оно преобразует вращение вала и транслирует его на специальную планку-фиксатор. Сама планка жестко соединяется с корпусом двигателя посредством крепежных элементов (болтов), что в итоге позволяет провернуть всю конструкцию двигателя для выполнения ремонтных работ.

Ключевым условием для проведения высококачественного и технологически правильного ремонта силовых агрегатов, под которыми в данном контексте подразумеваются двигатели внутреннего сгорания различных типов, а также механические и автоматические трансмиссии (коробки переключения передач), является обеспечение беспрепятственного и всестороннего доступа специалиста ко всем компонентам ремонтируемого узла. Для достижения этой цели наиболее оптимальным и эргономичным решением выступает внедрение в технологический процесс специализированного стендового оборудования. При детальном анализе существующих технических средств особого внимания заслуживают кантователи, или, как их иначе называют, поворотные стенды. Их главное функциональное преимущество заключается в возможности вращения надежно зафиксированного агрегата строго вокруг горизонтальной оси, что позволяет механику работать в удобном положении, не прилагая лишних физических усилий. При этом необходимо подчеркнуть, что жесткая и безлюфтовая фиксация ремонтируемого объекта является критически важным фактором, напрямую влияющим не только на удобство проведения работ, но и на безопасность персонала, а также на сохранность самого агрегата. Эта задача приобретает еще большую актуальность при техническом обслуживании и капитальном ремонте современных транспортных средств, отличающихся высокой сложностью конструкции. Таким образом, процесс проектирования и последующего создания эффективного стенда, предназначенного для ремонта двигателей и коробок передач, должен обязательно включать в себя этап тщательного и всестороннего анализа существующих на рынке аналогов. Речь идет о детальном изучении инженерных решений, применяемых как ведущими зарубежными производителями специализированного оборудования, так и разработчиками на отечественном рынке, что позволит учесть лучшие практики и избежать типичных конструкторских ошибок.

Стенд модели М-401 (также известный как СТУ-300), разработан и применяется для выполнения всего комплекса работ по сборке и разборке крупногабаритных силовых агрегатов, а именно двигателей производства Камского и Ярославского моторных заводов (КАМАЗ и ЯМЗ). Ключевой конструктивной особенностью данного оборудования является наличие

двух строго зафиксированных настроечных положений, которые оператор выбирает в прямой зависимости от конкретной модификации обслуживаемого двигателя. В частности, при проведении регламентных работ с двигателями семейства ЯМЗ требуется установка оснастки в максимальное проектное положение, тогда как для моторов КАМАЗ, в силу их конструктивных отличий, задействуется минимальная позиция регулировки. Несущая система стенда построена на двух траверсах: ведущая траверса, приводимая в действие червячным редуктором, стационарно закреплена на неподвижной опорной стойке, в то время как ведомая траверса смонтирована на подвижной каретке, что позволяет адаптировать стенд под различную длину агрегатов. Для надежного закрепления обе траверсы укомплектованы специальными фиксаторами (штырями). В момент установки двигателя эти штыри точно входят в ответные технологические отверстия, предусмотренные производителем в блоке цилиндров, что в конечном итоге гарантирует абсолютную неподвижность и надежность закрепления силового агрегата на время проведения всех технологических операций.

Перед началом работ по ремонту силового агрегата необходимо привести вспомогательное оборудование в рабочее состояние. С этой целью специализированная передвижная стойка (кантователь) перемещается в зону проведения работ и фиксируется в удобном для оператора положении с помощью штатных тормозных механизмов, исключающих её самопроизвольное перемещение. Далее производится опускание двигателя внутреннего сгорания на установленные регулируемые опоры (подхваты) таким образом, чтобы обеспечить точное совмещение технологических отверстий. После завершения установки агрегат надёжно стопорится на стойке при помощи четырёх крепёжных винтов, которые вкручиваются до полного упора в соответствующие резьбовые отверстия, предусмотренные конструкцией блока цилиндров. Для изменения положения двигателя в пространстве и обеспечения доступа ко всем его узлам используется специальная поворотная рукоятка, вращение которой позволяет зафиксировать агрегат под любым требуемым углом.

Универсальный стенд модели P500E (рисунок) применяется для ремонта и обслуживания силовых агрегатов. С его помощью выполняют разборку и сборку двигателей, коробок передач и задних мостов. Благодаря комплекту универсальных адаптеров, оборудование позволяет надёжно фиксировать и вращать узлы массой до 500 кг или 800 кг (в зависимости от модификации).



Рис. Стенд P500E

Благодаря использованию самотормозящегося червячного редуктора, двигатель или иной агрегат, установленный на стенде, можно точно сориентировать и надежно зафиксировать в оптимальном положении. Это обеспечивает высокое качество и максимальное удобство при проведении ремонтных операций.

Для проведения качественного ремонта тяжелых двигателей КАМАЗ и ЯМЗ используются специализированные стенды-кантователи моделей Р-776-01-У, Р-776-01-УК и Р-776-01-УЭ (грузоподъемность в 2000 кг). Данное оборудование позволяет надежно фиксировать мотор и поворачивать его вокруг своей оси, обеспечивая удобный доступ к любым узлам при выполнении сборочных и разборочных работ.

Таблица

Сравнение стенда Р500Е и стенда Р-776-01-УЭ

Характеристика	Стенд Р500Е	Стенд Р-776-01-УЭ	Какая модель лучше?
Грузоподъемность	500 кг или 800 кг (в зависимости от модификации)	2000 кг	Р-776-01-УЭ – значительно мощнее, выдерживает в 2.5-4 раза больший вес.
Специализация	Универсальный. Подходит для двигателей, КПП, задних мостов легковых и легких грузовых автомобилей отечественного и импортного производства.	Узкоспециализированный. Создан для тяжелых двигателей.	Зависит от задачи: Р500Е выигрывает в универсальности, Р-776-01-УЭ – лучший выбор для работы с "тяжелой" техникой.
Тип привода	Ручной, через червячный редуктор.	Электрический.	Р-776-01-УЭ удобнее для поворота массивных агрегатов весом под 2 тонны.
Конструкция	Передвижной или стационарный. Часто имеет поддон для сбора жидкостей.	Стационарный. Крепление осуществляется через фиксаторы, входящие в отверстия блока цилиндров.	Р500Е удобнее для перемещения по мастерской.
Вес стенда	~160 кг	~290 кг	Р500Е легче, что удобно при транспортировке или перестановке.

Надежность фиксации силового агрегата обеспечивается за счет применения редуктора, оснащенного встроенным самотормозящим механизмом. Благодаря этому решению двигатель может быть уверенно закреплен в произвольно выбранном положении. Что касается самого испытательного стенда, то для его установки не требуется применение каких-либо дополнительных крепежных элементов или анкеровки – достаточно, чтобы основанием служил ровный бетонный пол. Для достижения максимальной точности позиционирования и полного исключения даже малейшей вероятности сдвига или вибрации оборудования предусмотрена возможность регулировки и подклинивания при помощи специальных металлических

пластин, которые имеют различную толщину. Ключевой технической особенностью данной конструкции является способность рамы совершать вращение на 360 градусов вокруг своей оси. Это открывает широкие возможности для проведения ремонтных работ: специалист получает удобный доступ к труднодоступным узлам дизельных двигателей и элементам трансмиссии, которые в штатном положении на раме машины обслуживать крайне сложно или невозможно.

Стенды обладают унифицированной конструкцией с незначительными различиями, которые касаются сферы их применения и состава навесного оборудования для фиксации узлов транспортных средств. Отличительной особенностью модели Р-776-01-УЭ является наличие электрического привода.

Рассматриваемое изделие представляет собой специализированный стенд, смонтированный на прочной металлической раме, которая выступает в роли базового несущего элемента всей конструкции. На этой раме жестко закреплены две вертикальные опорные стойки. Первая из них служит основанием для установки червячного редуктора, который, в свою очередь, соединен с ведущей траверсой. Соответственно, на второй опорной стойке зафиксирована ведомая траверса, обеспечивающая надежную фиксацию противоположной части агрегата. Для обеспечения неподвижности тестируемого или ремонтируемого двигателя в процессе работы, каждая из траверс оснащена специальными фиксаторами. Эти элементы расположены под углом ровно 45 градусов по отношению к оси поворота устанавливаемого узла и предназначены для точного введения в соответствующие технологические отверстия на корпусе двигателя. Процесс вращения и позиционирования двигателя, необходимый для обеспечения максимального удобства при проведении разборочно-сборочных операций, осуществляется при помощи специальной рукоятки, смонтированной непосредственно на корпусе червячного редуктора. Благодаря использованию редуктора, оснащенного встроенным самотормозящим механизмом, двигатель, будучи установленным на стенде, может быть надежно зафиксирован в любом необходимом рабочем положении относительно оси вращения, что полностью исключает его самопроизвольное смещение. Важной особенностью конструкции является возможность эксплуатации стенда на ровном бетонном основании без применения каких-либо дополнительных анкерных креплений или фиксаторов. В случае же, если требуется еще более высокая степень стабилизации оборудования, исключающая даже малейшую вероятность его смещения в процессе интенсивной эксплуатации, предусмотрена возможность установки под основание рамы специальных регулировочных или компенсирующих металлических пластин различной толщины.

Вывод

В результате анализа существующих конструкций стендов, предназначенных для ремонта, было установлено, что при проектировании нового приспособления для выполнения сборочно-разборочных операций с узлами трансмиссии и двигателями транспортных средств целесообразно опираться на технические решения, реализованные в стенде модели Р500Е. Данный выбор продиктован тем, что указанный стенд сочетает в себе высокую степень универсальности, позволяя работать с различными типами агрегатов, и обладает необходимой мобильностью. Наличие колесной базы обеспечивает удобство перемещения стенда по территории ремонтной зоны, что является критически важным фактором для оптимизации рабочих процессов и оперативного доступа к ремонтируемым объектам. Однако стенд Р-776-01-УЭ имеет большую грузоподъемность и электрический привод, что тоже не мало важно при выполнении поставленных задач. Если совместить положительные качества моделей Р500Е и Р-776-01-УЭ, то новый стенд получится очень многофункциональным. Предназначенным как для легких, так и для тяжелых транспортных средств. Способный работать с разными типами агрегатов, обладать колесной базой и электрическим приводом. Единственным минусом такого изделия будет его цена.

Библиографический список

1. Монтаж, эксплуатация и ремонт технологического оборудования / А.Н. Батищев, И.Г. Голубев, В.В. Курчаткин и др. – М.: КолосС, 2007. – 424с.
2. Власов, Ю. А. Проектирование технологического оборудования автотранспортных предприятий: учебное пособие / Ю. А. Власов, Н. Т. Тищенко. — Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2009. — 296 с..
3. Справочник инженера по техническому сервису машин и оборудования в АПК. – М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 604с.
4. Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: учебник для ВУЗов / А. Ф. Синельников. — Москва: Издательский центр «Академия», 2014. — 320 с..
5. Технология сборки и монтажа / Х. М. Рахимьянов, Б. А. Красильников, Э. З. Мартынов. Учебное пособие для вузов, 2-е изд., Москва: Издательство «Юрайт», 2020.
6. Проектирование адаптера для установки автомобильных агрегатов на разборочно-сборочный стенд / Р. С. Фаскиев. Методические указания, Оренбург: ОГУ, 2018.
7. Гунба В.С. Моделирование технологических процессов ремонта по техническому состоянию двигателей автомобилей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 5-1. С. 124-131.

References

1. Montazh, Operation and Repair of Technological Equipment / A.N. Batishchev, I.G. Golubev, V.V. Kurchatkin et al. – Moscow: KolosS, 2007. – 424 p.
2. Vlasov Yu.A., Tishchenko N. T. Proektirovanie tekhnologicheskogo oborudovanie avtotransportnykh predpriyatiy: uchebnoe posobiye [Design of technological equipment of motor transport enterprises: a textbook]. - Tomsk: Tom Publishing House. gos. archit.-stroit. University, 2009. — 296 p.
3. Engineer's Handbook for Technical Service of Machines and Equipment in the Agro-Industrial Complex. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2003. – 604 p.
4. Osnovy tekhnologii proizvodstva i remonta transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin i oborudovanie: uchebnik dlya VUZov [Fundamentals of production and repair technology of transport and transport-technological machines and equipment: a textbook for higher education institutions]. — Moscow: Akademiya Publishing Center, 2014. - 320 p..
5. Kh. M. Rakhimyanov, B. A. Krasilnikov, E. Z. Martynov. Textbook for Higher Educational Institutions, 2nd ed., Moscow: Yurayt Publishing House, 2020.
6. Designing an adapter for installing automobile units on a disassembly and assembly stand / R. S. Faskiev. Guidelines, Orenburg: OSU, 2018.
7. Gunba V.S. Modeling of technological repair processes based on the technical condition of car engines // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2015. No. 5-1. pp. 124-131.

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ной техники и инженерной механики имени
профессора Н.А. Ульянова
Н.М. Волков
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (904) 214-68-47
e-mail: volkne@bk.ru
Студент 3 курса Дорожно-транспортного
факультета
А.И. Гетман
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (951) 858-63-07
e-mail: getman.a@vrtx-lab.ru*

*Voronezh State
Technical University
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of
the chair construction machinery and engi-
neering mechanics of a name of professor
N.A. Ulyanov N.M. Volkov
Russia, Voronezh, tel. +7 (904) 214-68-47
e-mail: volkne@bk.ru
3rd year student of the Faculty of Road and
Transport Engineering
A.I. Getman
Russia, Voronezh, tel. +7 (951) 858-63-07
e-mail: getman.a@vrtx-lab.ru*

Н.М. Волков, А.И. Гетман

МЕТОД 3D-СКАНИРОВАНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ПРИ РЕМОНТЕ НА МАЛОМ И СРЕДНЕМ ПРЕДПРИЯТИИ

Рассматривается метод ремонта деталей и узлов с помощью реверс-инжиниринга путём 3D-сканирования. Показаны этапы сканирования и обработки результатов.

Ключевые слова: 3D-сканирование, реверс-инжиниринг, ремонт специальной техники.

N.M. Volkov, A.I. Getman

3D-SCANNING IN DESIGNING PARTS AND ASSEMBLY REPAIRS AT SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES

This article examines a method for repairing parts and assemblies using reverse engineering with 3D scanning. The scanning and results processing stages are described.

Keywords: 3D scanning, reverse engineering, repair of specialized equipment.

В настоящий момент в России сложилась неблагоприятная ситуация с поставкой зарубежных продуктов, в том числе на рынке строительной и сельскохозяйственной техники, однако многие предприятия имеют в автопарке иностранные машины. Так доля зарубежной строительной техники на российском рынке составляет порядка 88–90% [1]. Запчасти для такой техники трудно достать – очень ограниченное количество поставщиков оригинальных компонентов из Китая, а приобретение от европейских и американских поставщиков и вовсе затруднено ввиду санкций. Возникает потребность в замене оригинальных деталей, но велика вероятность наличия контрафакта среди них. На помощь может прийти реверс-инжиниринг, в частности 3D-сканирование компонентов, подлежащих ремонту.

3D-сканирование компонентов предназначено для их дальнейшей оцифровки в САПР в целях изготовления аналога или оценки ремонтпригодности, также компоненты могут сканировать до и после ресурсных испытаний для анализа износа и деформации готового изделия.

В реверс-инжиниринге для создания цифровых моделей используют два основных типа 3D-сканирования – контактный и бесконтактный. При контактном методе используют щуп для касания поверхности. Координатно-измерительные машины (КИМ) обеспечивают точность до 1–5 микрон. Часто используются с лазерными головками для совмещения точности и скорости. Портативные КИМ (или шарнирные руки) удобны для крупных деталей при сканировании в цеху, однако точность ниже (до 50–100 микрон). Такие методы подходят только для поверхностей с простыми геометрическими формами, также процедура занимает длительное время.

Бесконтактные методы имеют преимущества над контактными в скорости и работе со сложной геометрией, однако их точность ниже. Они подразделяются на оптические и физические.

Среди оптических методов лазерное сканирование (или триангуляция) один из самых популярных методов для деталей среднего размера (от 1 см до нескольких метров). Характерна высокой скоростью и плотностью точек. Точность составляет от 20 до 100 микрон. Среди минусов можно выделить затруднение работы с блестящими поверхностями и наоборот, поверхностями с плохими отражательными способностями.

Структурированный свет (или проекция решётки) обеспечивает высокую точность для оптики за счёт проекции чёрно-белых полос (до 5–10 микрон). Подходит для небольших деталей со сложной поверхностью (к примеру, литьё под давлением). Однако данный метод очень требователен к условиям сканирования – необходимо проводить калибровку, прибор для замеров чувствителен к яркому солнечному свету и бликующим поверхностям, а также наблюдаются сложности при работе с тёмными поверхностями.

Фотограмметрия создаёт модель по множеству фотографий. Используется для крупных объектов (автомобили, корпуса). Идеально подходит для фиксации текстуры и цвета, так как главным минусом является низкая точность (до 0,1–0,3 мм) [2].

Среди физических методов часто используется компьютерная томография (КТ). Она позволяет сканировать внутренние полости и скрытые поверхности, например, каналы охлаждения в литейной форме. Создаёт полную 3D-модель детали, включая внутреннюю структуру. Минусом данного метода является дороговизна операции.

Среди совокупных качеств самым частым методом является триангуляция. Она позволяет работать с объектами больших размеров, а недостатки компенсируются специальными подготовительными работами, описанными ниже [3].

Первым этапом сканирования является подготовка исходного изделия. В зависимости от требуемого результата компонент может быть разобран по частям при необходимости. Важным моментом является очистка всех поверхностей от грязи и пыли, все блестящие, полупрозрачные и прозрачные, зеркальные, контрастные и тёмные поверхности покрываются матирующим спреем. Далее на изделие случайным образом наклеиваются специальные светоотражающие маркеры – опорные точки, программа считывает их координаты и позволяет более точно производить сканирование.

Далее производится настройка и калибровка лазерного сканера. На приборе выставляется плотность точек, режим под определённую освещённость помещения и длительность сканирования.

Следующим этапом происходит сканирование. Сканер проецирует лазерную сетку на поверхность объекта, данные о её геометрии фиксируются на основании преломления лазерных линий. От расстояния между сканером и поверхностью зависит точность сканирования. Чем плотнее сетка, тем точнее данные с датчиков воспроизводятся в программе. В результате получается «сырое» облако точек – промежуточный этап сканирования, представленный на рисунке.

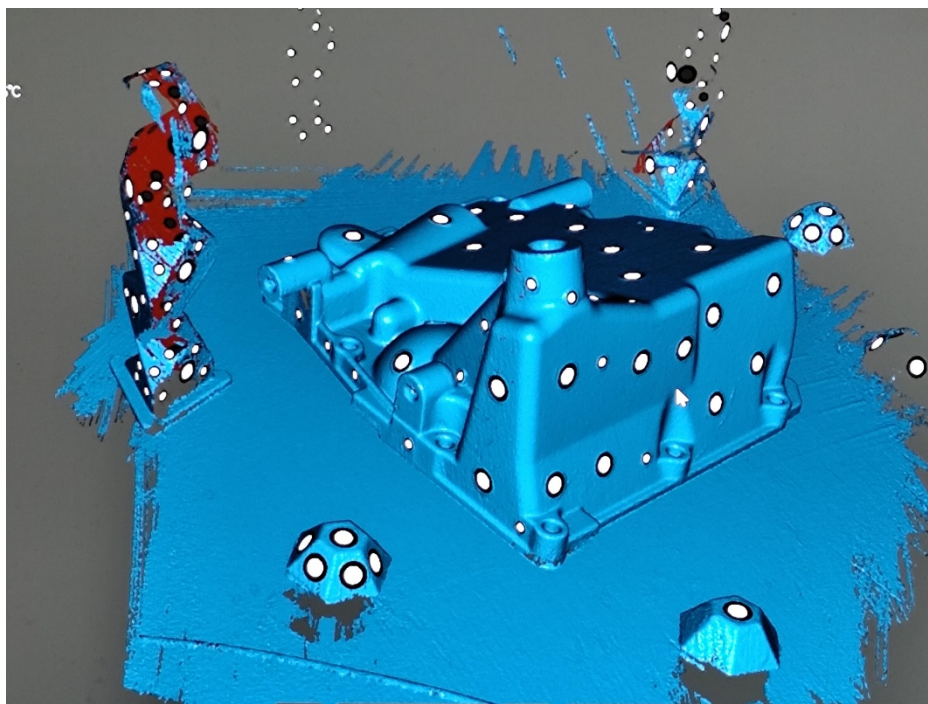


Рис. Результаты сканирования картера двигателя

Далее происходит обработка полученных данных. Фильтруются и очищаются артефакты и шумы, возникающие в процессе сканирования, удаляются внешние объекты, не относящиеся к изделию – окружающая среда, подставки и т.д. Далее производится «сшивание» облака точек в единую сетку, сглаживаются поверхности для устранения резких переходов, шероховатостей и неровностей.

Облако точек преобразуется в полигональную 3D-модель (ПМ). Она состоит из множества треугольных полигонов, образующих единую сетку. Большое количество полигонов требует значительных вычислительных мощностей, поэтому поверхности с простой формой оптимизируются и сглаживаются. В данном виде ПМ можно использовать в целях визуализации или печати макета.

При дальнейшей работе производится ручное редактирование ПМ: добавляются области, не попадающие в поле видимости сканера: полости, трубки и т.д. Такие участки дорабатываются на основе ручных измерений. Сетка модели заполняется твердотельным материалом изнутри.

Последним этапом создаётся точная CAD-модель на основе полученной. ПМ импортируется в проект, определяются края, отверстия, углы модели, наносятся размеры, редактируются кривые и поверхности в соответствии с заданными параметрами и затем объединяются в единую модель. Далее на основе CAD-модели создаётся чертёж и изделие идёт в производство.

Выводы

1. Метод 3D-сканирования позволяет отремонтировать детали, у которых возможно устранить повреждения на станках, предназначенных для обработки деталей, а также позволяет изготовить примитивные детали. Тем не менее, данный метод не является полным для замены сложных деталей и узлов, где требуется информация о материалах детали техпроцессу. Более того, в некоторых случаях организовать процесс изготовления таких изделий крайне затруднительно.

2. Для средних предприятий, где автопарк считается несколькими десятками машин, приобретение сканера окупается в течение нескольких сезонов, однако нужно учитывать работу специалистов по проектированию. На малых предприятиях рациональным способом будет аренда данного устройства и заказ на изготовление компонента у предприятий, специализирующихся на данных работах.

Библиографический список

1. Минпромторг отметил падение рынка дорожно-строительной техники в РФ – Текст: электронный // ТАСС — URL: <https://tass.ru/ekonomika/23816567/> (дата обращения: 21.04.2026 г.);
2. Сравнение технологий 3D сканирования – Текст: электронный // 3D-mall — URL: <https://3d-m.ru/sravnenie-tehnologij-3d-skanirovaniya/?ysclid=motix7n2ax107239978/> (дата обращения: 22.04.2026 г.);
3. Как работает 3D-сканирование: от физического образца до CAD-модели и чертежей – Текст: электронный // Addex — <https://addex.ru/blog/osnovnye-etapy-3d-skanirovaniya?ysclid=mo10yxnf6r924405616#rec774526790/> (дата обращения: 22.04.2026 г.).

References

1. The Ministry of Industry and Trade noted a decline in the Russian road construction equipment market – Electronic resource // TASS — URL: <https://tass.ru/ekonomika/23816567/> (date of reference: 21.04.2026);
2. Comparison of 3D scanning technologies – Electronic resource // 3D-mall — URL: <https://3d-m.ru/sravnenie-tehnologij-3d-skanirovaniya/?ysclid=motix7n2ax107239978/> (date of reference: 22.04.2026);
3. How 3D scanning works: from physical sample to CAD model and drawings – Electronic resource // Addex — <https://addex.ru/blog/osnovnye-etapy-3d-skanirovaniya?ysclid=mo10yxnf6r924405616#rec774526790/> (date of reference: 22.04.2026).

*Воронежский государственный
технический университет
Студент дорожно-транспортного
факультета*

*А.Е. Горбачев,
e-mail: gorbachev_alex.2004@mail.ru*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строительной
техники и инженерной механики имени
профессора Н.А. Ульянова*

Р.А. Жилин

Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 277-01-29

e-mail: razhilin@yandex.ru

*Voronezh State
Technical University*

*Student of the Faculty of Road Transport
Faculty*

*A.E. Gorbachev,
e-mail: gorbachev_alex.2004@mail.ru*

*D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the chair
construction machinery and engineering
mechanics of a name of professor N.A. Ulyanov*

R.A.Zhilin

Russia, Voronezh, tel. +7(473) 277-01-29

e-mail: razhilin@yandex.ru

А.Е. Горбачев, Р.А. Жилин

ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМ ПОЛНОГО ПРИВОДА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В статье представлен системный анализ разновидностей полного привода автомобилей. Рассматриваются классификационные признаки, лежащие в основе разделения трансмиссий: тип привода (подключаемый, постоянный, автоматический), конструктивные особенности межосевых дифференциалов и алгоритмы управления электронными системами.

Ключевые слова: полный привод, трансмиссия, межосевой дифференциал, раздаточная коробка, векторизация тяги, электромобиль.

A.E. Gorbachev, R.A. Zhilin

EVOLUTION OF FULL-CYCLE DRIVE SYSTEMS OF MOTOR VEHICLES

The article presents a system analysis of the types of full-cycle drive of cars. The classification features underlying the division of transmissions are considered: drive type (switched, permanent, automatic), design features of interaxle differentials and control algorithms of electronic systems.

Keywords: all-wheel drive, transmission, center differential, transfer case, traction vectorization, electric vehicle.

Полный привод долгое время оставался прерогативой специализированной техники — военных автомобилей, внедорожников и сельскохозяйственной техники. Однако с конца XX века наблюдается устойчивая тенденция к «демократизации» полного привода. Современный рынок предлагает широкий спектр автомобилей (от городских кроссоверов до суперкаров), оснащенных трансмиссиями, передающими крутящий момент на все колёса.

Актуальность данного исследования обусловлена не только многообразием конструктивных решений, но и изменением самой парадигмы полного привода. Если изначально основной целью было повышение проходимости, то сегодня приоритетами становятся активная безопасность, устойчивость на высоких скоростях и энергоэффективность. Смещение терминологии (4WD, AWD, Part-time, Full-time) и появление гибридных схем требуют четкой научной систематизации.

Классификационные признаки систем полного привода

Анализ технической литературы позволяет выделить три основных критерия классификации полноприводных трансмиссий.

Part-time (Подключаемый привод)

Исторически первый тип. Жесткое подключение переднего моста (в классической компоновке) осуществляется водителем посредством рычага или кнопки. Отсутствует межосевой дифференциал. В замкнутом состоянии трансмиссия жестко связана, что при движении на твердом покрытии (высокий коэффициент сцепления) приводит к силовой циркуляции, повышенному износу шин и трансмиссии. Область применения: классические рамные внедорожники (Jeep Wrangler, UAZ).

Full-time (Постоянный полный привод)

Крутящий момент распределяется на все колеса постоянно. Ключевым элементом является межосевой дифференциал (симметричный или асимметричный), обеспечивающий возможность разности угловых скоростей вращения всех колёс. Недостатком классической схемы является уязвимость: при пробуксовке одного из колес весь поток мощности уходит на него. Для устранения недостатка межосевой дифференциал стали оснащать принудительной блокировкой (дифференциал Torsen, многодисковые муфты).

On-demand (Автоматический/Подключаемый электроникой)

Доминирующий тип в сегменте кроссоверов. Автомобиль изначально является передне- или заднеприводным. Второй мост подключается автоматически при высокой мощности работы двигателя и(или) возникновении разницы угловых скоростей, фиксируемой электроникой. Управление осуществляется многодисковой фрикционной муфтой в приводе дополнительного моста. Преимущества: экономия топлива (отсутствие потерь на трение в трансмиссии при движении по шоссе) и простота интеграции с платформами переднеприводных автомобилей.

По типу межосевого дифференциала

В системах постоянного полного привода (Full-time) и в раздаточных коробках тяжелых внедорожников ключевую роль играет конструкция межосевого дифференциала:

Открытый шестеренчатый: Прост, но требует блокировки (ручной или электронной) для преодоления бездорожья.

Torsen (Torsen): Механический дифференциал повышенного трения, распределяющий момент в зависимости от сопротивления вращению. Отличается мгновенным откликом, но чувствителен к полной потере сцепления на одном из мостов (в таких условиях становится бесполезным).

Многодисковая муфта (Haldex, BorgWarner и др.): выступает в роли блокируемого межосевого дифференциала или устройства подключения второй оси. Современные муфты управляются электроникой, имеют возможность предварительного поджатия (pre-load) и способны передавать до 100% момента на один мост.

По компоновке и типу привода

С точки зрения инженерии, системы делятся на три компоновочные схемы:

- Заднеприводная платформа с подключаемым передним мостом: классика для внедорожников (Mercedes G-Class, Land Rover Defender).
- Переднеприводная платформа с муфтой подключения заднего моста: наиболее массовый сегмент (Volkswagen Tiguan, Toyota RAV4).
- Спортивные системы с векторизацией тяги (Torque Vectoring, Active Yaw Control): продвинутый подкласс, где управление осуществляется не только подключением моста, но и распределением тяги между колесами (через дополнительные многодисковые муфты или дифференциалы с активным поджимом). Это позволяет гасить избыточную поворачиваемость и улучшать управляемость на пределе сцепления.

Эволюция алгоритмов управления

Если до 2000-х годов полный привод был преимущественно «механическим», то современные системы представляют собой сложные киберфизические системы.

Три поколения систем управления (по классификации автора):

— Реактивные: Муфта замыкается только после фиксации пробуксовки колес ведущей оси. (Минус — задержка реакции).

— Преактивные: используют данные CAN-шины (положение педали газа, угол поворота руля, частота вращения колес, температура за бортом). Система прогнозирует потерю сцепления и заранее создает момент предварительного сжатия муфты.

— Интегрированные: Система полного привода является подсистемой единого контура управления динамикой автомобиля (VDM — Vehicle Dynamics Management). Работа муфт интегрирована с системой стабилизации (ESP), адаптивной подвеской и даже рулевым управлением.

Влияние электрификации

Благодаря совершенствованию тормозных систем, широкое распространение получила имитация блокировки дифференциала (Automatic Differential Brake - ADB-X) и(или) антипробуксовочная система (TRC - Traction Control), которая позволяет предотвратить пробуксовку колёс и увеличить крутящий момент реализуемый для перемещения транспортного средства.

Переход к электромобилям и гибридам кардинально меняет архитектуру полного привода. Традиционная механическая связь между мостами через карданный вал и раздаточную коробку исчезает.

Выделяются два основных направления:

E-AWD (Electric All-Wheel Drive): на одном (обычно заднем, требует сложного алгоритма синхронизации работы разнородных силовых установок) или каждом мосту (или на каждом колесе) установлен отдельный электродвигатель. Механический межосевой дифференциал отсутствует. Распределение момента осуществляется программно со скоростью, недостижимой для гидромеханических муфт. Преимущества: возможность реализации векторизации тяги без механических потерь; низкий центр тяжести за счет размещения батарей (схема так же реализуется без батарей); легкость реализации функции «танкового разворота».

Сравнительный анализ и перспективы

Определяя выбор схемы полного привода, производители ориентируются на предназначение транспортного средства, вес всех систем, сложность компонентов, применение на моноприводных платформах, обеспечение безопасности и экономическую целесообразность. Так для сложных дорожных условий больше подходят схемы с блокировкой всех дифференциалов, но учитывая прочность компонентов (полуосей) от неё часто отказываются в пользу надёжности и простоты, таким образом в городских автомобилях рациональнее использовать подключаемый привод без дифференциала. Когда хотят внедрить полный привод на уже существующую модель автомобиля, для минимизации изменения конструкции кузова, прибегают к передаче мощности не через кардан, а путем электрогенератор-электромотор, что особенно легко реализуется, на автомобилях, уже использующих электромеханическую трансмиссию, что позволят (при наличии тяговой батареи) использовать и при рекуперации вращение всех в данном случае мотор-генераторов и распределять нагрузку и на трансмиссию, и на подвеску, и на шины.

Проведенный сравнительный анализ (см. таблицу) позволяет утверждать, что выбор типа привода напрямую диктуется условиями эксплуатации автомобиля.

Таблица

Сравнительная характеристика типов полного привода

Характеристика	Part-time (4WD)	Full-time (AWD)	On-demand (AWD)	E-AWD (Электрический)
Проходимость	Высокая	Средняя	Средняя	Высокая
Управление на асфальте	Низкая	Высокая	Высокая	Максимальная
Эффективность (экономия)	Низкая	Средняя	Высокая	Максимальная
Сложность	Средняя	Высокая	Средняя	Низкая

Перспективы развития лежат в области отказа от механических связей в пользу индивидуальных электроприводов колес (In-wheel motors). Однако широкому внедрению таких систем пока препятствуют проблемы неподдрессированных масс и высокая стоимость силовой электроники. В сегменте автомобилей с ДВС прогнозируется дальнейшее совершенствование многодисковых муфт с улучшенной теплоотводящей способностью и интеграцией систем предиктивного управления на основе видеодатчиков (сканирование дорожного покрытия).

Разновидности полного привода современного автомобиля представляют собой не просто технические вариации, а различные философии проектирования. От примитивного жесткого подключения мостов индустрия пришла к «интеллектуальным» системам, где распределение момента является частью адаптивного управления шасси.

На сегодняшний день не существует универсальной системы полного привода: внедорожные рамные автомобили сохраняют механическую блокировку для надежности, массовые кроссоверы делают ставку на электронно-управляемые муфты ради экономии, а высокотехнологичные электромобили открывают эру полностью управляемой векторной тяги без механического соединения между осями. Дальнейшие исследования в этой области будут сосредоточены на оптимизации алгоритмов прогнозирования состояния дороги и снижении энергетических потерь в гибридных и электрических трансмиссиях.

Библиографический список

1. Раймпель Й. Шасси автомобиля: элементы подвески. — М.: Машиностроение, 2017. — 504 с.
2. Халдай П. Полный привод: история развития и современные тенденции // Журнал автомобильных инженеров (SAE International). — 2023. — № 5. — С. 32–41.
3. BorgWarner Inc. Technical Review: Advanced Torque Management Systems for AWD Applications. — Detroit, 2022. — 15 p.
4. Кельн А. В. Интеллектуальные системы управления трансмиссией полноприводных автомобилей // Автомобильная промышленность. — 2024. — № 2. — С. 14–19.
5. Пышный В.А. Разработка и использование методики прогнозирования эффективности функционирования автомобильной транспортной системы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 5-1. С. 23-30.

References

1. Reimpel, J. Car Chassis: Suspension Elements. — M.: Mechanical Engineering, 2017. — 504 p.
2. Haldai, P. Four-wheel Drive: History of Development and Current Trends // Journal of Automotive Engineers (SAE International). — 2023. — No. 5. — Pp. 32–41.
3. BorgWarner Inc. Technical Review: Advanced Torque Management Systems for AWD Applications. — Detroit, 2022. — 15 p.
4. Keln, A. V. Intelligent transmission control systems for all-wheel drive vehicles // Automobile Industry. — 2024. — No. 2. — Pp. 14–19.
5. Pyshny V. A. Development and use of a methodology for predicting the effectiveness of the functioning of an automobile transport system // Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Technical sciences. 2015. No. 5-1. pp. 23-30.

Государственный научный центр
Российской Федерации Федеральное
государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский
автомобильный и автомототехнический институт
«НАМИ»» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»)

Канд. техн. наук

Р.Г. Данилов

Россия, г. Москва, тел. +7-903-597-72-11

e-mail: r.danilov@nami.ru

Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет
(МАДИ),

Канд. техн. наук, доцент

Н.М. Андриянов

Россия, Москва, тел. +7-916-706-90-62

e-mail: andryukhov_nm@mail.ru

Государственный научный центр
Российской Федерации Федеральное
государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский
автомобильный и автомототехнический институт
«НАМИ»» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»)

В.И. Заколадкин

Россия, г. Москва, тел. +7-977-953-05-08

e-mail: v.zakolodkin@nami.ru

Государственный научный центр
Российской Федерации Федеральное
государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский
автомобильный и автомототехнический институт
«НАМИ»» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»)

П.И. Литвак

Россия, г. Москва, тел. +7-963-779-95-37

e-mail: pavel.litvak@nami.ru

Государственный научный центр
Российской Федерации Федеральное
государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский
автомобильный и автомототехнический институт
«НАМИ»» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»)

Е.И. Заколадкин

Россия, г. Москва, тел. +7-977-341-31-79

e-mail: evgeny.zakolodkin@nami.ru

State Scientific Center
of the Russian Federation Federal State
Unitary Enterprise
«Central Research Automobile and Auto-Motor
Institute «NAMI»»

(SSC RF FSUE «NAMI»)

Cand. Of Tech. Science

R.G. Danilov

Russia, Moscow, tel. +7-903-597-72-11

e-mail: r.danilov@nami.ru

Moscow Automobile
and Road Engineering State Technical
University (MADI),

Cand. of Tech. Science, Associate prof

N.M. Andryukhov

Russia, Moscow, tel. +7-916-706-90-62

e-mail: andryukhov_nm@mail.ru

State Scientific Center
of the Russian Federation Federal State
Unitary Enterprise
«Central Research Automobile and Auto-Motor
Institute «NAMI»»

(SSC RF FSUE «NAMI»)

V.I. Zakolodkin

Russia, Moscow, tel. +7-977-953-05-08

e-mail: v.zakolodkin@nami.ru

State Scientific Center
of the Russian Federation Federal State
Unitary Enterprise
«Central Research Automobile and Auto-Motor
Institute «NAMI»»

(SSC RF FSUE «NAMI»)

P.I. Litvak

Russia, Moscow, tel. +7-963-779-95-37

e-mail: pavel.litvak@nami.ru

State Scientific Center
of the Russian Federation Federal State
Unitary Enterprise
«Central Research Automobile and Auto-Motor
Institute «NAMI»»

(SSC RF FSUE «NAMI»)

E.I. Zakolodkin

Russia, Moscow, tel. +7-977-341-31-79

e-mail: evgeny.zakolodkin@nami.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИГАТЕЛИ ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Рассмотрены характерные режимы работы двигателей, устанавливаемых на бульдозеры и землеройно-транспортные машины. Приведены внешние скоростные характеристики современных отечественных дизельных двигателей и их основные технические параметры. Приведенные в статье материалы позволяют обоснованно подобрать для землеройно-транспортной техники современные двигатели.

Ключевые слова: бульдозеры, землеройно-транспортные машины, дизельный двигатель, внешняя скоростная характеристика, мощность, крутящий момент.

R.G. Danilov, N.M. Andriukhov, V.I. Zakolodkin, P.I. Litvak, E.I. Zakolodkin

MODERN ENGINES FOR EARTH-MOVING MACHINERY

The article discusses the typical operating modes of engines installed on bulldozers and earth-moving machines. It provides external speed characteristics of modern domestic diesel engines and their main technical parameters. The materials presented in the article allow for a reasonable selection of modern engines for earth-moving equipment.

Keywords: bulldozers, earth-moving machines, diesel engine, external speed characteristics, power, and torque.

Большая часть земляных работ в дорожном строительстве приходится на долю машин циклического действия – бульдозеров и автогрейдеров. Установлено, что наиболее тяжелым и неблагоприятным с точки зрения условий работы двигателя является режим нагрузки бульдозера. При работе двигателя в этом режиме наблюдаются значительные колебания частоты вращения коленчатого вала и большое снижение выходных показателей по мощности и топливной экономичности в сравнении с данными регуляторной характеристики [1].

В отличие от режима нагрузки двигателей сельскохозяйственных тракторов, работающих преимущественно на регуляторной ветви внешней скоростной характеристики, двигатель бульдозера в период набора грунта постоянно работает на скоростной ветви в диапазоне числа оборотов двигателя, соответствующих максимальному крутящему моменту M_k . Этот режим выгоден с точки зрения получения максимального тягового усилия бульдозера и обеспечивает наибольшую производительность. Повышенная тяга, возможная при меньших скоростях агрегата, обеспечивает срезание грунта максимально возможной толщины и обладает высокой реактивно-напорной силой. Это способствует быстрому наполнению призмы волочения, что невозможно при срезании стружки малой толщины при работе агрегата на высокой скорости [2].

Работа двигателя в период транспортирования грунта характеризуется высоким скоростным режимом на регуляторной ветви характеристики с незначительными колебаниями числа оборотов. В зависимости от состояния грунта на пути транспортирования двигатель развивает крутящий момент в диапазоне 300–400 Нм, что указывает на значительную его недозагрузку.

Важное значение на производительность бульдозеров оказывает и кривизна внешней скоростной характеристики. Исследованиями [3] установлено, что у двигателей постоянной мощности наблюдается увеличение производительности до 10 % и при этом снижается расход топлива на 12 % благодаря увеличению рабочих скоростей машины, а также от части из-за увеличения объема призмы волочения.

Также отмечается повышение производительности при смещении точки перегиба характеристики крутящего момента в зону более высокой частоты вращения вследствие увеличения рабочих скоростей бульдозера при приблизительно одинаковом объеме призмы волочения.

Проведенные исследования работы двигателя землеройно-транспортных машин циклического действия показывают целесообразность некоторого повышения мощности двигателя N_e по сравнению с мощностью, которая может быть реализована по тягово-сцепным характеристикам трактора [3]. Избыточная мощность позволяет двигателю работать без перегрузок при попадании в процессе резания грунта твердых включений, что благоприятно сказывается на его ресурсе. Это согласуется с наблюдаемой тенденцией повышения мощности двигателей без увеличения массы и рабочих скоростей землеройно-транспортных машин [4–6].

На энергонасыщенные промышленные тракторы К-7М «Кировец» Петербургского тракторного завода устанавливают дизели Тутаевского моторного завода ТМЗ-8481.10. В 2025 году успешно завершены испытания тракторов К-7М, оснащенных новыми тутаевскими двигателями ТМЗ-8801.10 «Прогресс», оборудованными топливной системой аккумуляторного типа и электронной системой управления. В январе 2026 г. двигатели ТМЗ-8801.10 получили сертификат соответствия экологическим требованиям для внедорожной техники ГОСТ Р 41.96-2011, что соответствует европейским нормам Stage IIIA. Внешняя скоростная характеристика (ВСХ) двигателей ТМЗ, предназначенных для тракторов К-7М «Кировец», приведена на рис. 1.

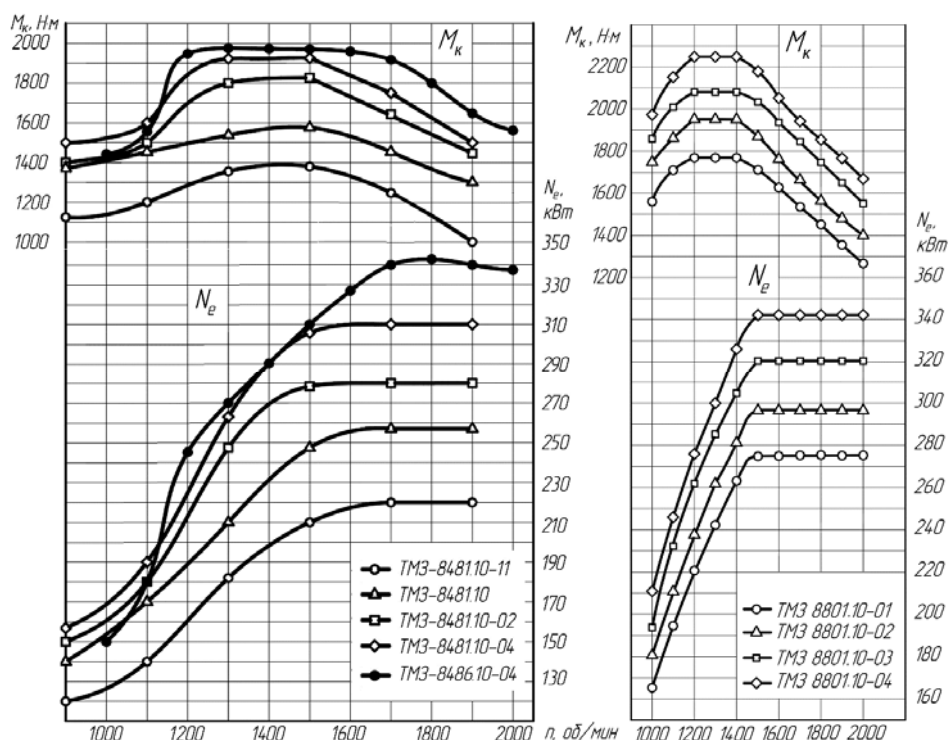


Рис. 1. ВСХ дизельных двигателей ТМЗ, предназначенных для тракторов К-7М «Кировец»

На тракторы К-7М «Кировец» также устанавливают 8-цилиндровые V-образные дизели ЯМЗ-658, которые являются турбированными версиями с топливной аппаратурой аккумуляторного типа и электронным управлением известных ярославских моторов ЯМЗ-238. V-образные 6-цилиндровые дизели ЯМЗ-656, представляющие собой современную модернизированную версию двигателей ЯМЗ-236, предназначены для колесных тракторов Брянского тракторного завода, погрузчиков К-708ПК7 и бульдозеров К-708БКУ «Кировец». 6-цилиндровыми рядными двигателями ЯМЗ-536 и ЯМЗ-537 оснащаются тракторы К-525Т, К-530Т и автогрейдеры К-714 «Кировец» [7]. ВСХ современных дизелей ЯМЗ приведены на рис. 2 и 3.

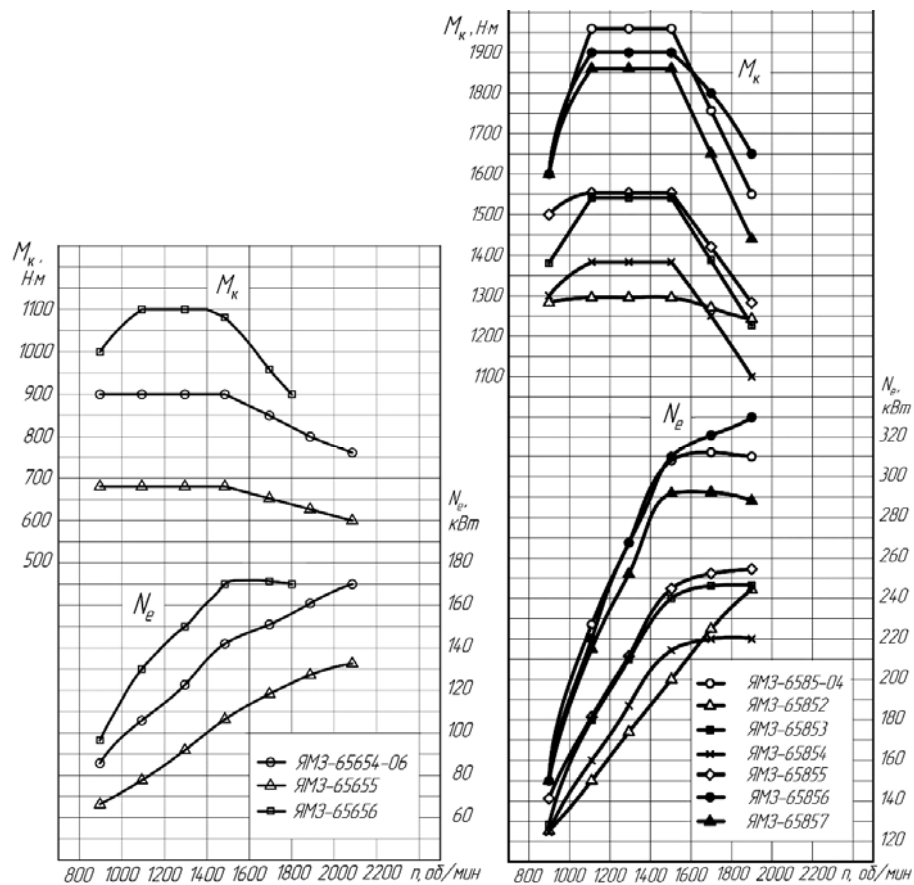


Рис. 2. ВСХ V-образных дизельных двигателей ЯМЗ-656, ЯМЗ-658

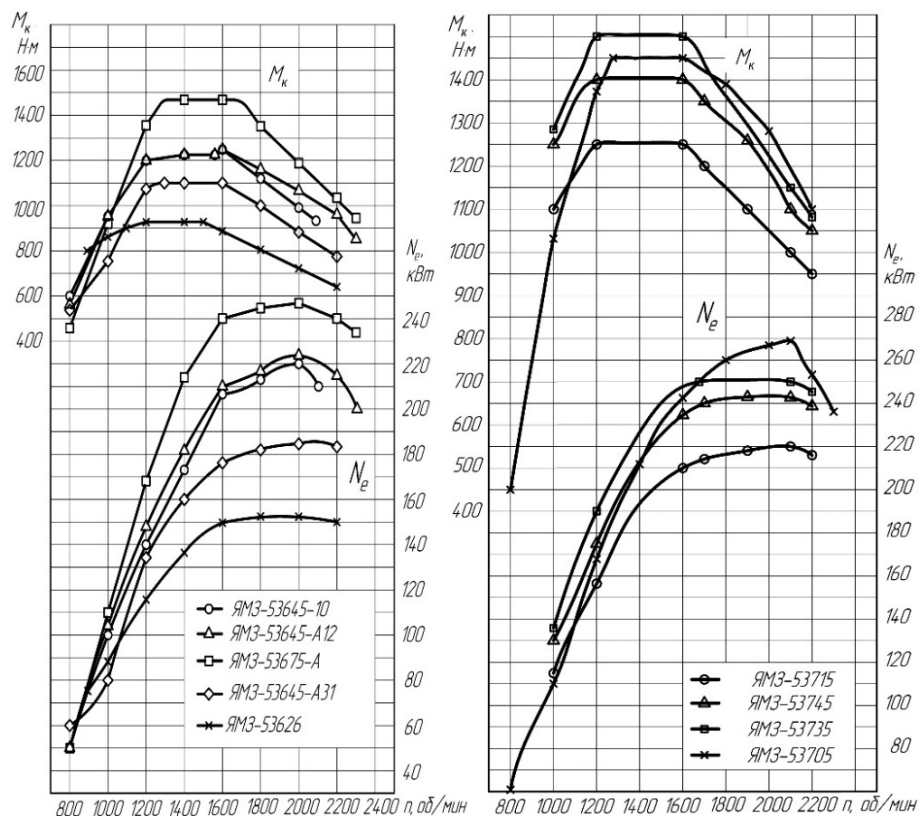


Рис. 3. ВСХ 6-цилиндровых рядных дизельных двигателей ЯМЗ-536 и ЯМЗ-537

Бульдозеры D30, производство которых в 2024 году освоил завод «ДСТ-Урал», комплектуются дизелем ТМЗ-8487.10-03 мощностью 331 кВт (450 л. с.). Промышленные тракторы Т30.03 «Четра» АО «Промтрактор» оснащаются двигателем ТМЗ-8523.10 мощностью 373 кВт (507 л. с.) [8]. На промышленные тракторы ТК25, погрузчики ПК12 и гусеничные бульдозеры Т25.02Я, Т35.01Я «Четра» АО «Промтрактор» устанавливают 12-цилиндровые V-образные турбодизели ЯМЗ-850. ВСХ дизелей ТМЗ-8487, ТМЗ-8523 и ЯМЗ-850 приведены на рис. 4.

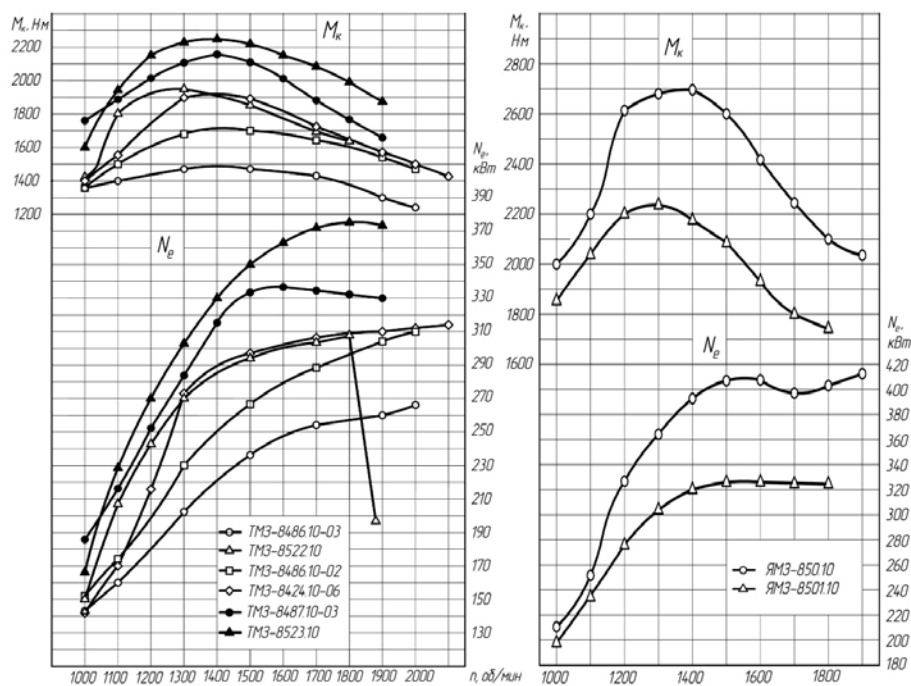


Рис. 4. ВСХ дизельных двигателей ТМЗ и ЯМЗ для тракторов ООО «ДСТ-Урал» и АО «Промтрактор»

Основные технические параметры современных отечественных дизельных двигателей, предназначенных для установки на промышленные колесные и гусеничные бульдозеры и землеройно-транспортные машины, приведены в таблице.

Таблица
Технические параметры дизельных двигателей для землеройно-транспортных машин

Модель дизельного двигателя	Число и располо- жение цилиндр- ов	Диаметр цилиндра и ход поршня, мм	Рабочий объем, л	Номинальная мощность при частоте вращения			Макс. крутящий момент при час- тоте вращения			Уд. расход, г кВт·ч	Сухая масса, кг
				кВт	л. с.	мин ⁻¹	Н·м	кгс·м	мин ⁻¹		
ЯМЗ-53626	6РВ	105х128	6,65	147	200	2200	935	95	1200	228*	640
ЯМЗ-53645	6РВ	105х128	6,65	184	250	2100	1100	112	1300	197	650
ЯМЗ-53675-А	6РВ	105х135	7,0	235	320	2200	1450	148	1300	200	620
ЯМЗ-53735	6РВ	110х135	7,7	250	340	2100	1400	143	1300	195	620
ЯМЗ-53705	6РВ	110х135	7,7	266	362	2100	1450	148	1300	200	620
ЯМЗ-65655	6V90	130х140	11,15	132	180	2100	667	68	1100	195	1015
ЯМЗ-65654-06	6V90	130х140	11,15	169	230	2100	883	90	1200	195	1015
ЯМЗ-65656	6V90	130х140	11,15	173	235	1700	1100	112	1100	195	1015
ЯМЗ-65854	8V90	130х140	14,86	220,6	300	1900	1373	140	1100	215*	1250
ЯМЗ-65855	8V90	130х140	14,86	257	350	1900	1570	160	1100	215*	1250
ЯМЗ-65857	8V90	130х140	14,86	287	390	1900	1864	190	1100	215*	1250
ЯМЗ-6585-04	8V90	130х140	14,86	309	420	1900	1962	200	1100	195	1250

Окончание табл.

ТМЗ-8481.10-11	8V90	140x140	17,24	220	300	1900	1373	140	1400	204	1375
ТМЗ-8481.10	8V90	140x140	17,24	257	350	1900	1570	160	1300	204	1375
ТМЗ-8481.10-02	8V90	140x140	17,24	287	390	1900	1864	190	1300	204	1375
ТМЗ-8481.10-04	8V90	140x140	17,24	309	420	1900	1960	200	1300	204	1375
ТМЗ-8801.10-01	8V90	140x140	17,24	276	375	1800	1785	182	1200	192	1490
ТМЗ-8801.10-02	8V90	140x140	17,24	298	405	2000	1960	200	1200	192	1490
ТМЗ-8801.10-03	8V90	140x140	17,24	322	435	2000	2100	214	1200	192	1490
ТМЗ-8801.10-04	8V90	140x140	17,24	344	468	1800	2240	228	1200	192	1490
ТМЗ-8522.10	8V90	140x140	17,24	305	415	1775	1960	200	1300	204	1380
ТМЗ-8486.10-02	8V90	140x140	17,24	309	420	2000	1725	176	1300	204	1415
ТМЗ-8424.10-06	8V90	140x140	17,24	312,5	425	2100	1913	195	1400	204	1415
ТМЗ-8487.10-03	8V90	140x140	17,24	330	450	1900	2158	220	1400	201	1490
ТМЗ-8523.10	8V90	140x140	17,24	372	506	1900	2250	229	1400	203	1490
ЯМЗ-8501.10	12V90	140x140	25,86	324	440	1800	2230	227	1300	211	2020
ЯМЗ-850.10	12V90	140x140	25,86	412	560	1900	2695	275	1400	211	2050

Примечание: РВ – рядное вертикальное; V90 – V-образное под углом 90°; Уд. расход – удельный минимальный расход топлива; * – удельный расход топлива при номинальной мощности.

Выводы

1. Двигатели, устанавливаемые на землеройно-транспортные машины, должны одинаково хорошо работать (без снижения показателей при продолжительной работе) как по скоростной характеристике в диапазоне максимальных крутящих моментов, так и по регуляторной характеристике в режиме наибольшей мощности.

2. В России разработаны и производятся специализированные двигатели для бульдозеров и землеройно-транспортной техники. Важно при проектировании новых бульдозеров и других землеройно-транспортных машин использовать современные специализированные двигатели, соответствующие экологическим требованиям, принятым в нашей стране.

3. Рекомендуется двигатель для землеройно-транспортной машины подбирать так, чтобы он имел запас мощности, необходимый для преодоления пиковых нагрузок, возникающих на операции копания грунта при попадании под нож отвала прочных составляющих в разрабатываемом грунте. Наличие запаса мощности снижает интенсивность износа деталей двигателя, что положительным образом сказывается на его ресурсе.

4. Приведенные в статье технические параметры и внешние скоростные характеристики позволяют на этапе проектирования новых землеройно-транспортных машин обоснованно подобрать современный двигатель и рассчитать в заданных условиях эксплуатации скорости движения, силы сопротивления и тяги проектируемой машины при разработке грунта, его транспортировке и движении на холостом ходу.

Библиографический список

1. Багиров Д.Д., Златопольский А.В., Сысоев В.И. Об оптимальной загрузке двигателей внутреннего сгорания строительных и дорожных машин // Строительные и дорожные машины. – 1967. – №7. – С. 26–28.
2. Аникин Г.В., Михайлин Г.К. К вопросу о режимах нагружения двигателей тракторов промышленного назначения // Тракторы и сельхозмашины. – 1968. – № 12. – С. 9–11.
3. Багиров Д.Д., Елисеев И.В., Ладыженский Б.Н., Кардаполов А.П., Костенко К.К. Зависимость производительности и топливной экономичности бульдозера от номинальной мощности и характеристики двигателя // Строительные и дорожные машины. – 1971. – № 6. – С. 15–17.

4. Бульдозеры и рыхлители. Устройство, основы расчета: Учебное пособие / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов, Г.В. Кустарёв, К.К. Шестопалов. Под общ. ред. В.И. Баловнева. –М.: МАДИ, 2013. –160 с.
5. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Бульдозеры // Строительные и дорожные машины. – 2021. – № 6. –С. 9–18.
6. Дорожно-строительные машины и комплексы. Учебник для вузов / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов, Г.В. Кустарёв, М.Д. Герасимов, Н.Д. Селиверстов, Н.М. Андрюхов. Под общ ред. В.И. Баловнева и С.Н. Глаголева. –3-е изд., дополн. и перераб. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – 523 с.: ил.
7. Данилов Р.Г., Андрюхов Н.М., Заколоткин В.И., Литвак П.И., Заколоткин Е.И. Двигатели дорожно-строительных машин // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии, инновации. Материалы междунар. конф. (11-15 ноября 2024 г.): В 3 ч. Ч 3. / науч. редкол. Э.Д. Акманаев [и др.]. –Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2024. –С. 133–139.
8. Кустарёв Г.В., Данилов Р.Г., Андрюхов Н.М., Заколоткин В.И., Литвак П.И. Характеристики двигателей землеройных машин // Проблемы экспертизы в автомобильно-дорожной отрасли. – 2024. – № 3 (12). –С. 65–72.

References

1. Bagirov D.D., Zlatopolsky A.V., Sysoev V.I. On the Optimal Loading of Internal Combustion Engines of Construction and Road Machines // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. – 1967. – No. 7. – Pp. 26–28.
2. Anikin G.V., Mikhailin G.K. On the Loading Modes of Industrial Tractor Engines // Tractors and Agricultural Machinery. – 1968. – No. 12. – Pp. 9–11.
3. Bagirov D.D., Yeliseyev I.V., Ladyzhensky B.N., Kardapolov A.P., Kostenko K.K. Dependence of the performance and fuel efficiency of a bulldozer on the rated power and engine characteristics // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. –1971. –No. 6. – Pp. 15–17.
4. Bulldozers and rippers. Device, Calculation Fundamentals: Study Guide / V.I. Balovnev, R.G. Danilov, G.V. Kustarev, K.K. Shestopalov. Under the General Ed. V.I. Balovnev. –М.: МАДИ, 2013. –160 p.
5. Balovnev V.I., Danilov R.G. Bulldozers // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. – 2021. – No. 6. – Pp. 9–18.
6. Road-building machines and complexes. Textbook for universities / V.I. Balovnev, S.N. Glagolev, R.G. Danilov, G.V. Kustarev, M.D. Gerasimov, N.D. Seliverstov, N.M. Andryukhov. Under the general editorship of V.I. Balovnev and S.N. Glagolev. – 3rd edition, expanded and revised. – Belgorod: BGTU Publishing House, 2020. – 523 p.: ill.
7. Danilov R.G., Andryukhov N.M., Zakolodkin V.I., Litvak P.I., and Zakolodkin E.I. Engines for Road Construction Machines // Agrotechnologies of the 21st Century: Development Strategy, Technologies, and Innovations. Materials of the International Conference (November 11-15, 2024): In 3 parts. Part 3. / Scientific Editorial Board: E.D. Akmanaev [et al.]. – Perm: IPC Prokrost, 2024. – Pp. 133–139.
8. Kustarev G.V., Danilov R.G., Andryukhov N.M., Zakolodkin V.I., Litvak P.I. Characteristics of earthmoving machine engines // Automotive and Road expert evaluation. – 2024. – No. 3 (12). – Pp. 65–72.

*Воронежский государственный
технический университет*

*Аспирант кафедры строительной техники и
инженерной механики им. профессора*

Н.А. Ульянова

Н.С. Жидких

*Студент факультета машиностроения и
аэрокосмической техники А.А. Андрейкин*

*Студент факультета инженерных систем и
сооружений Е.А. Логунова*

Россия, г. Воронеж, тел. +7 (960) 113-99-66

e-mail: info@vrtx-lab.ru

Voronezh State

Technical University

*Postgraduate student of the Department
of Construction Machinery and Mechanical
Engineering named after Professor*

N.A. Ulyanov N.S. Zhidkikh

*Student of the Faculty of Mechanical
and Aerospace Engineering A.A. Andreikin*

*Student of the Faculty of Engineering Systems
and Structures E.A. Logunova*

Russia, Voronezh, tel. +7 (960) 113-99-66

e-mail: info@vrtx-lab.ru

Н.С. Жидких, А.А. Андрейкин, Е.А. Логунова

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ УСТРОЙСТВА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СИМРЕЙСИНГА В КОНСТРУКЦИИ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ ГОНОЧНЫМ АВТОМОБИЛЕМ КЛАССА «ФОРМУЛА СТУДЕНТ»

В статье рассматривается возможность применения отдельных конструктивных и эргономических принципов, реализуемых в современном оборудовании для симрейсинга, при разработке органов управления гоночного автомобиля класса «Формула Студент». На примере рулевого колеса Moza KS Pro и педального узла Moza CRP2 определены решения, которые могут быть использованы при формировании требований к рулевому колесу, подрулевым органам управления, педальному блоку и системе взаимодействия пилота с автомобилем.

Ключевые слова: Формула Студент, гоночный автомобиль, органы управления, симрейсинг, рулевое колесо, педальный узел, эргономика.

N.S. Zhidkikh, A.A. Andreikin, E.A. Logunova

APPLICATION OF SIM RACING EQUIPMENT DESIGN PRINCIPLES IN THE CONTROL SYSTEMS OF A FORMULA STUDENT RACING CAR

The article discusses the possibility of applying individual design and ergonomic principles implemented in modern sim racing equipment to the development of control systems for a Formula Student racing car. Using the Moza KS Pro steering wheel and the Moza CRP2 pedal set as examples, design solutions are identified that can be used to form requirements for the steering wheel, paddle controls, pedal assembly and driver-vehicle interaction system.

Keywords: Formula Student, racing car, control system, sim racing, steering wheel, pedal assembly, ergonomics.

Современный гоночный автомобиль представляет собой сложную техническую систему, эффективность которой определяется не только параметрами силовой установки, несущей системы, подвески и шин, но и качеством взаимодействия пилота с автомобилем. Органы управления в данном случае не могут рассматриваться в качестве второстепенных элементов конструкции, поскольку именно через них пилот формирует управляющие воздействия, определяющие траекторию движения, режимы разгона, торможения и переключения передач.

В гоночном автомобиле класса «Формула Студент» данная задача приобретает особую значимость. Студенческая команда разрабатывает автомобиль в условиях ограниченного времени, материальных ресурсов и производственных возможностей, одновременно обеспечивая соответствие требованиям международного регламента, безопасности пилота и реальной эксплуатационной пригодности конструкции [1, 2, 3]. Поэтому органы управления должны быть не только функциональными, но и технологичными, ремонтпригодными, эргономичными и достаточно надежными для работы в условиях вибраций, загрязнений, ударных воздействий и ограниченного времени на обслуживание.

Одним из возможных направлений повышения качества проектирования органов управления является анализ оборудования для симрейсинга. Несмотря на то, что подобные устройства предназначены для эксплуатации в виртуальной среде, они все чаще воспроизводят конструктивную и эргономическую логику реальных гоночных автомобилей. В современных рулевых колесах и педальных узлах для симрейсинга применяются бесконтактные датчики, датчики усилия, программируемые органы управления, световая индикация, дисплеи, быстросъемные соединения и механизмы регулировки характеристик педалей.

В данной работе в качестве примеров рассматриваются рулевое колесо Moza KS Pro и педальный узел Moza CRP2. Руль Moza KS Pro представляет собой 300-миллиметровое рулевое колесо GT-типа с дисплеем, программируемыми органами управления, RGB-индикацией и магнитными лепестками переключения передач; производитель указывает наличие 2,99-дюймового дисплея с частотой обновления 60 Гц и разрешением 268×800 пикселей. Педальный узел Moza CRP2 выполнен с применением алюминиевого сплава, стального основания и карбоновой площадки для пятки; тормозная педаль использует датчик нагрузки до 200 кг и датчик угла с разрешением 15 бит.

При этом прямое применение данных изделий в составе реального гоночного автомобиля не является предметом рассмотрения. Оборудование для симрейсинга разрабатывается для стационарных условий эксплуатации, не испытывает полноценных эксплуатационных нагрузок реального автомобиля и не обязано соответствовать требованиям спортивного регламента. Следовательно, интерес представляют не сами изделия, а принципы их построения, которые могут быть адаптированы при разработке органов управления болида.

Первым таким принципом является концентрация основных органов управления в зоне естественного хвата пилота. В болиде класса «Формула Студент» водитель находится в ограниченном пространстве кокпита, а время на выполнение управляющих действий минимально. Поэтому переключатели, кнопки и индикация должны располагаться таким образом, чтобы пилот мог выполнять наиболее важные операции без снятия рук с рулевого колеса. Данный подход позволяет снизить вероятность ошибочных действий и повысить стабильность управления автомобилем при прохождении динамических дисциплин.

Вторым принципом является функциональное разделение органов управления. В конструкции рулевого колеса могут использоваться органы различного типа: кнопки — для дискретных команд, поворотные энкодеры — для выбора режимов, подрулевые лепестки — для быстрых повторяемых действий. Такая логика позволяет не только повысить удобство работы пилота, но и упростить проектирование электрической схемы, поскольку каждому типу управляющего воздействия соответствует определенный тип сигнала.

Третьим принципом является применение бесконтактных датчиков. В симрейсинговом оборудовании такие датчики используются для повышения повторяемости сигнала и снижения влияния механического износа. Для реального болида это особенно важно, поскольку органы управления подвергаются воздействию вибраций, пыли, влаги, температурных изменений и механических нагрузок. Бесконтактные датчики могут быть использованы в подрулевых переключателях, датчиках положения педалей, органах выбора режимов и вспомогательных элементах управления.

Четвертым принципом является переход от оценки перемещения к оценке усилия в тормозном контуре или педальном узле. Для пилота гоночного автомобиля торможение является действием, в значительной степени основанным на мышечной памяти. Поэтому измерение усилия или давления может быть более информативным, чем измерение только перемещения педали. В конструкции болида данный принцип может быть реализован не путем прямого заимствования датчика из симрейсингового педального узла, а через применение датчика давления в гидравлической системе или датчика усилия в механизме тормозной педали.

Пятым принципом является настраиваемость механических характеристик органов управления. В студенческой команде болидом могут управлять несколько пилотов, отличающихся ростом, массой, длиной ног, посадкой и предпочтениями по усилиям на органах управления. Поэтому педальный узел должен обеспечивать регулировку положения, хода и, по возможности, характера сопротивления педалей. Аналогичная логика может быть применена к рулевому колесу, подрулевым лепесткам и вспомогательным органам управления.

Шестым принципом является интеграция органов управления и индикации в единую человеко-машинную систему. В гоночном автомобиле пилот должен получать только ту информацию, которая необходима для принятия оперативных решений. Поэтому дисплей, светодиодная индикация оборотов двигателя, предупреждения о неисправностях и сигналы состояния систем должны быть расположены в зоне быстрого восприятия, но не должны перегружать пилота избыточными данными.

Сопоставление отдельных принципов, реализуемых в оборудовании для симрейсинга, и возможных решений для болида класса «Формула Студент» представлено в таблице.

Таблица

Структура эргономических требований к болиду класса «Формула Студент»

Группа требований	Что проверяется	Проектное значение
Посадка пилота	Положение таза, спины, плеч, ног и головы в шлеме	Задаёт исходную геометрию кокпита и защитной структуры
Достигаемость органов управления	Руль, педали, переключатели, аварийные выключатели	Позволяет управлять автомобилем без изменения посадки
Регулируемость	Перемещение педального узла, вкладыши сиденья, настройка ремней	Обеспечивает адаптацию болида под нескольких пилотов
Обзорность	Видимость трассы, конусов, зеркал, дисплея и сигнальных элементов	Снижает риск ошибок при прохождении динамических дисциплин
Фиксация тела	Работа сиденья, ремней и боковой поддержки	Не допускает удержания тела за счёт руля и педалей
Эвакуация	Выход из кокпита в полной экипировке	Связывает эргономику с требованиями безопасности

При проектировании рулевого колеса болида необходимо учитывать, что его геометрия должна обеспечивать надежный хват при действии боковых ускорений, достаточную жесткость конструкции и удобство работы в ограниченном пространстве кокпита. Диаметр и форма рулевого колеса должны соответствовать кинематике рулевого управления, передаточному отношению рулевого механизма и требуемому углу поворота колес. Размещение кнопок и переключателей должно определяться не только удобством монтажа, но и сценариями использования автомобиля на трассе.

Особое внимание должно быть уделено быстростъемному соединению рулевого колеса. Оно должно обеспечивать надежную фиксацию при движении автомобиля и одновременно позволять пилоту быстро покинуть кокпит в случае аварийной ситуации. Электрические соединения, проходящие через рулевое колесо, должны быть защищены от случайного отсоединения, перегиба проводов, вибраций и загрязнения. При этом конструкция должна сохранять ремонтпригодность, поскольку в условиях соревнований устранение неисправностей часто выполняется непосредственно в паддоке.

Педальный узел болида должен обладать высокой жесткостью, поскольку паразитные деформации могут снижать точность управляющих воздействий и ухудшать информативность торможения. Положение педалей должно регулироваться под антропометрические особенности пилотов, а ход педалей и усилие на них должны обеспечивать возможность стабильного повторения действий в условиях ограниченного времени на адаптацию. Для тормозной педали особенно важно обеспечить понятную обратную связь и надежную связь между усилием пилота и давлением в тормозной системе.

Отдельно следует отметить возможность применения оборудования для симрейсинга при создании стенда для предварительной отработки эргономики кокпита. Такой стенд может использоваться для проверки расположения рулевого колеса, педалей, кнопок, дисплея и подрулевых органов управления до изготовления окончательных деталей болида. Это позволяет выявить ошибки компоновки на ранней стадии проектирования, уменьшить количество переделок и сформировать у пилотов первичную мышечную память до начала ходовых испытаний [2, 4].

Таким образом, оборудование для симрейсинга может рассматриваться как источник отдельных инженерных принципов, применимых при разработке органов управления гоночного автомобиля класса «Формула Студент». Наибольший интерес представляют компактная компоновка интерфейса пилота, функциональное разделение органов управления, применение бесконтактных датчиков, измерение тормозного воздействия по усилию, возможность регулировки механических характеристик и интеграция индикации в зону восприятия пилота. При этом данные решения должны адаптироваться с учетом реальных эксплуатационных нагрузок, требований безопасности, ограничений регламента и производственных возможностей студенческой инженерной команды.

Библиографический список

1. Formula Student Rules 2026 (Электронный ресурс). URL: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2026/rules/FS-Rules_2026_v1.1.pdf (дата обращения: 18.04.2026).
2. Жидких, Н. С. Разработка V-модели управления проектами по созданию новых моделей автомобилей с применением технологий цифровых двойников / Н. С. Жидких, И. В. Поцбенева, А. В. Смольянинов // Качество и жизнь. – 2023. – № 2(38). – С. 3-9. – DOI 10.34214/2312-5209-2023-38-2-03-09. – EDN VMKICE.
3. Организация процесса разработки автомобиля на примере студенческой инженерно-гоночной команды / Н. С. Жидких, Д. С. Мацокин, А. А. Андрейкин, Е. А. Логунова // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2024. – № 2. – С. 52-55. – EDN HWMGFD.

4. Андрейкин, А. А. Применение контекстного моделирования как инструмента повышения качества автомобиля на ранних стадиях его жизненного цикла / А. А. Андрейкин, А. И. Гетман, Н. С. Жидких // Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте : Материалы Международной молодежной научно-практической конференции, Воронеж, 17–18 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 230-236. – DOI 10.58168/DPIITT2024_230-236. – EDN VQFXMM.

References

1. Formula Student Rules 2026 (Electronic resource). URL: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2026/rules/FS-Rules_2026_v1.1.pdf (date of request: 05/18/2026).
2. Zhidkikh, N. S. Development of a V-model of project management for the creation of new models of cars using digital twin technologies / N. S. Zhidkikh, I. V. Potsebnova, A.V. Smolyaninov // Quality and life. – 2023. – № 2(38). – Pp. 3-9. – DOI 10.34214/2312-5209-2023-38-2-03-09. – EDN VMKICE.
3. Organization of the car development process using the example of a student engineering racing team / N. S. Zhidkikh, D. S. Matsokin, A. A. Andreikin, E. A. Logunova // High technologies in the construction complex. – 2024. – No. 2. – pp. 52-55. – EDN HWMGFD.
4. Andreikin, A. A. The use of contextual modeling as a tool to improve the quality of a car at the early stages of its life cycle / A. A. Andreikin, A. I. Getman, N. S. Zhidkikh // Development prospects, innovations and information technologies in transport : Proceedings of the International Youth Scientific and Practical Conference, Voronezh, 17-18 October 2024. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2024. pp. 230-236. – DOI 10.58168/DPIITT2024_230-236. – EDN VQFXMM.

*Воронежский государственный
технический университет
Д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой
строительной техники и инженерной
механики имени профессора Н.А. Ульянова
В.А. Жулай;*

*Воронежский государственный
технический университет
Аспирант кафедры строительной техники
и инженерной механики им. профессора
Н.А. Ульянова
А.А. Скукин
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 277-01-29
e-mail: grumpy.cat2@yandex.ru*

*Voronezh State
Technical University
ScD, professor, head of the department of con-
struction machinery and mechanical engineer-
ing named after professor N.A. Ulyanov
V.A. Zhulai;*

*Voronezh State
Technical University
Postgraduate student of the department of con-
struction machinery and mechanical engineer-
ing named after professor N.A. Ulyanov
A.A. Skukin
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 277-01-29
e-mail: grumpy.cat2@yandex.ru*

В.А. Жулай, А.А. Скукин

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

Статья посвящена исследованию конструкций рабочего оборудования гидравлического одноковшового экскаватора. Проанализированы существующие подходы к оптимизации его элементов. Предложено конструктивное изменение, направленное на расширение зоны высоких усилий на зубьях ковша.

Ключевые слова: гидравлический экскаватор, рабочее оборудование, эффективность, ковш экскаватора, зубья ковша.

V.A. Zhulai, A.A. Skukin

METHODS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE WORKING EQUIPMENT OF A HYDRAULIC EXCAVATOR

The article is devoted to the study of the designs of the working equipment of a hydraulic single-bucket excavator. Existing approaches to component optimization are analyzed, and a design modification is proposed to expand the high-force zone at the bucket teeth.

Keywords: hydraulic excavator, working equipment, efficiency, excavator bucket, bucket teeth.

В настоящее время в строительстве для выполнения земляных работ широкое распространение получили одноковшовые гидравлические экскаваторы. Их основные достоинства – это простота преобразования вращательного движения в поступательное и способность эффективно разрабатывать грунты I-IV категорий.

Производительность одноковшового гидравлического экскаватора не является постоянной величиной и зависит от целого ряда факторов. Одним из ключевых параметров выступает усилие, развиваемое на зубьях ковша. Чем выше это усилие, тем больше увеличивается площадь срезаемой стружки грунта, что, в свою очередь, ведёт к сокращению продолжительности рабочего цикла и, как следствие, к росту производительности.

Недостатком применяемого на современных экскаваторах привода поворота ковша является снижение усилия на зубьях по мере уменьшения плеча передачи момента от гидроцилиндра.

Рассмотрим существующие технические решения, направленные на устранение этого ограничения.

Известна конструкция по патенту на полезную модель RU 54971 U1 (рис. 1), позволяющая увеличить усилие копания за счёт введения специального звена – съёмного кронштейна треугольной формы. Один конец этого кронштейна посредством болтового соединения связан с платформой, а второй шарнирно соединён с гидроцилиндром поворота стрелы [1]

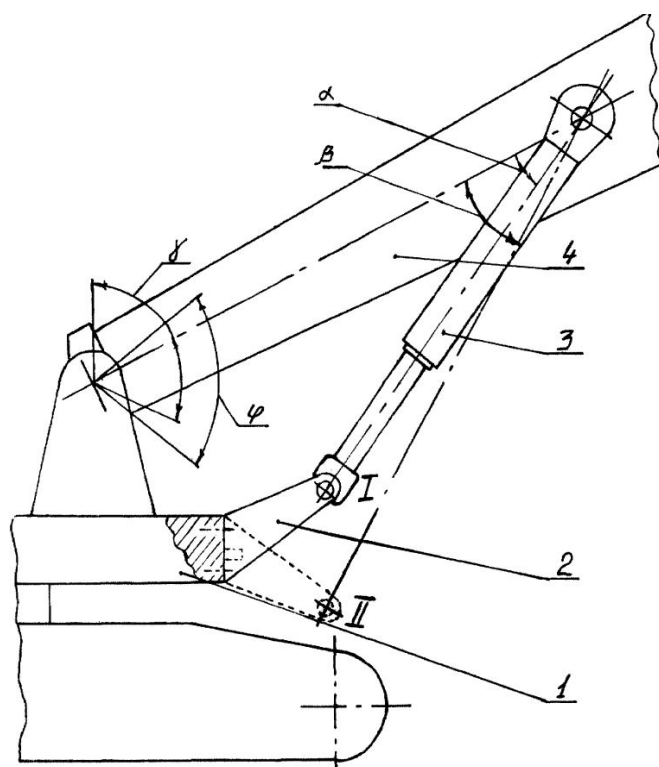


Рис. 1. Конструктивная схема рабочего оборудования гидравлического экскаватора с использованием треугольного кронштейна:

- I – положение для использования с оборудованием типа прямая лопата;
- II – положение для использования с оборудованием типа обратная лопата;
- 1 – платформа; 2 – кронштейн; 3 – гидроцилиндр поворота стрелы; 4 – стрела

Однако, при использовании такого решения усилие резания увеличивается не на зубьях ковша, а на стреле. Это приводит к тому, что ковш стремится повернуться против часовой стрелки из-за чего он хуже наполняется грунтом. В результате оператор вынужден постоянно вмешиваться, управляя гидроцилиндром ковша, чтобы добиться его полного заполнения.

Существует конструкция ковша V-Raptor, (рис.2). Его форма позволяет сконцентрировать усилие отрыва экскаватора на одном зубе, что значительно повышает эффективность при работе с твердыми и мерзлыми грунтами. [2]



Рис. 2. Ковш V-Raptor

К недостаткам данного решения стоит отнести снижение ёмкости ковша, а также отсутствие увеличения усилий на зубьях ковша при увеличении угла поворота.

Рабочее оборудование по полезной модели RU 238905 [3] (рис.3) предусматривает увеличение момента резания за счёт внедрения регулируемой ножевой системы.

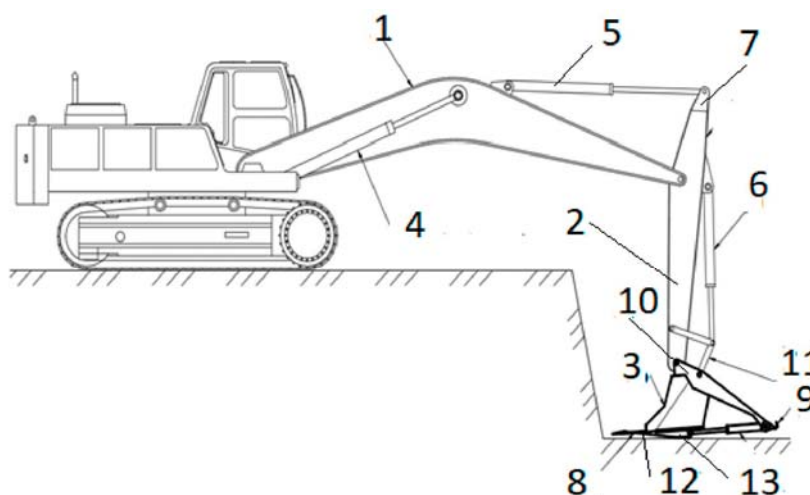


Рис. 3. Конструктивная схема рабочего оборудования гидравлического экскаватора с регулируемой ножевой системой

В данном рабочем оборудовании для выполнения работ по разработке грунта ножевая система 8 ковша 3 с рабочими балками 12, перемещается в швеллерах с роликоопорами 13 с помощью движения штоков гидроцилиндров управления ножевой системой 9 ковша 3 в среднее положение, тем самым, образуя режущую кромку с выступающими ножами. Увеличение силового момента обеспечивается наличием кронштейна рукояти 7, шарнирно соединённого с гидроцилиндром управления рукоятью 5.

К негативным моментам такого устройства относятся его сложность, требующая серьёзных переработок серийного оборудования.

Известен гидрофицированный привод поворота ковша одноковшовой машины (рис.4) в котором передаточный механизм от гидроцилиндра к ковшу и рукояти выполнен из гидроцилиндров (один двустороннего действия), которые могут играть роль обычных тяг. Такое устройство позволяет повысить усилие на зубьях ковша и увеличить угол его поворота. [4]

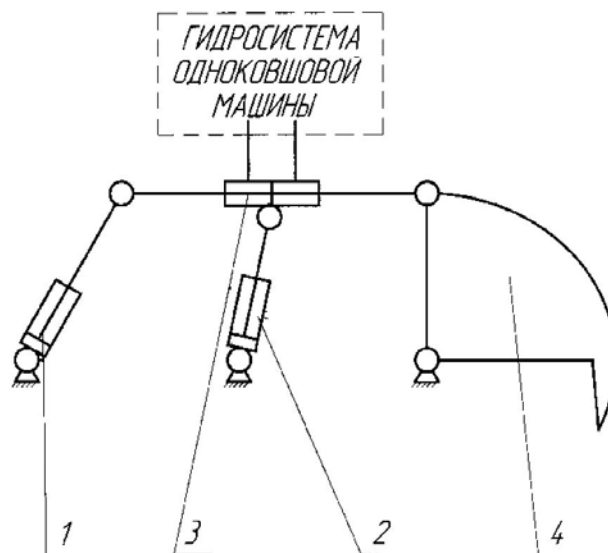


Рис. 4. Кинематическая схема гидрофицированного привода поворота ковша:
1 – основной гидроцилиндр ковша; 2 – вспомогательный гидроцилиндр двустороннего действия с односторонним штоком; 3 – вспомогательный гидроцилиндр двустороннего действия с двусторонним штоком; 4 – ковш

Однако подобный привод достаточно сложен из-за наличия двух гидроцилиндров, которые в большинстве случаев функционируют лишь как механические тяги.

Рассмотрим механизм поворота ковша (рис.5) гидравлического экскаватора, с помощью которого можно расширить зону максимальных усилий на зубья ковша.

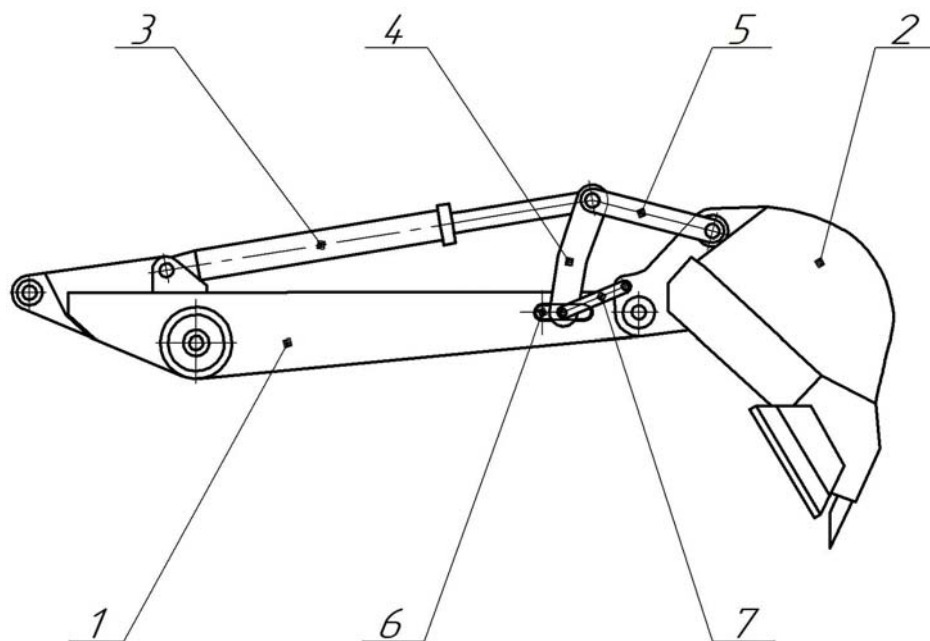


Рис. 5. Механизм поворота ковша:
1 – рукоять; 2 – ковш; 3 – гидроцилиндр привода; 4 – коромысло;
5 – тяга; 6 – паз направляющий; 7 – дополнительная тяга

Конструкция механизма поворота ковша предусматривает *автоматическое смещение опоры коромысла 4* с помощью дополнительной тяги 7 в направляющих 6, когда при серийной конструкции начинается снижение усилий на зубьях [5].

Выводы

Проведённый анализ подтвердил разнообразие инженерных подходов к улучшению конструкции рабочего оборудования. Среди них выделяется кинематическая схема, в которой рост плеча действия гидроцилиндров приводит к повышению реализуемого на зубьях ковша максимального усилия.

Библиографический список

1. Патент на полезную модель RU 54971. Рабочее оборудование одноковшового гидравлического экскаватора. Макеев В.Н., Плешков Д.Д. Оpubл. 27.07.2006.
2. <https://www.digrock.com/v-raptor-bucket-fixed/>
3. Патент на полезную модель RU 238905. Рабочее оборудование гидравлического экскаватора с регулируемой ножевой системой ковша. Токар Н.И., Ильичёв В.А., Мевлидинов М.З. Оpubл. 18.11.2025. Бюл. №32.
4. Патент RU 2208095. Гидрофицированный привод поворота ковша одноковшовой машины. Кобзов Д.Ю., Коробка П.Л., Перевошиков Е.А., Жмуров В.В. Оpubл. 10.07.2003.
5. Патент RU 2855429. Механизм поворота ковша гидравлического экскаватора. Нилов В.А., Жулай В.А., Тюнин В.Л., Скукин А.А. Оpubл. 02.02.2026. Бюл. №4.

References

1. Utility Model Patent RU 54971. Working Equipment of a Single-Bucket Hydraulic Excavator. Makeev V.N., Pleshkov D.D. Published 27.07.2006.
2. <https://www.digrock.com/v-raptor-bucket-fixed/>
3. Utility Model Patent RU 238905. Working Equipment of a Hydraulic Excavator with an Adjustable Bucket Blade System. Tokar N.I., Ilyichev V.A., Mevlidinov M.Z. Published November 18, 2025. Bulletin No. 32.
4. Patent RU 2208095. Hydraulic drive for turning the bucket of a single-bucket machine. Kobzov D. Yu., Korobka P. L., Perevoshchikov E. A., Zhmurov V. V. Published 10.07.2003
5. Patent RU 2855429. Rotary mechanism of hydraulic excavator bucket. Nilov V.A., Fedorov E.V., Skukin A.A. Published 02.02.2026. Bulletin No. 4.

*Воронежский государственный
технический университет
Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой
строительной техники и инженерной
механики В.А. Жулай;*

*Канд. техн. наук, доцент, декан дорожно-
транспортного факультета*

В.Л. Тюнин;

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ной техники и инженерной механики имени
проф. Н.А. Ульянова*

Д.Н. Дегтев;

*Магистр дорожно-транспортного
факультета Ю.С. Чурсин;*

*Студент дорожно-транспортного
факультета В.В. Хохлов;*

Россия, г. Воронеж, тел. 8(473) 277-01-29

Voronezh State

*Technical University Dr.Sci.Tech., prof., head
of the chair of building engineering and engi-
neering mechanics*

V.A. Zhulai;

*Cand. of Tech. Science, Associate prof., dean of
the Faculty of Road Transport*

V.L. Tyunin;

*Cand. of Tech. Science, Associate prof. De-
partment of construction engineering and engi-
neering mechanics named after Professor*

N.Ul'yanova D.N. Degtev

Students of the road and transport faculty

Yu.S. Chursin;

Students of the road and transport faculty

V.V. Khokhlov

Russia, Voronezh, tel. 8(473) 277-01-29

В.А. Жулай, В.Л. Тюнин, Д.Н. Дегтев, Ю.С. Чурсин, В.В. Хохлов

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ БОКОВЫХ ОТКРЫЛКОВ В БУЛЬДОЗЕРНОМ ОБОРУДОВАНИИ

В статье рассмотрен один из наиболее распространенных и эффективных методов повышения производительности бульдозеров – установка боковых открьлков (уширителей) на стандартный отвал. Проведен анализ конструктивных особенностей различных типов открьлков, механизма их влияния на процесс формирования призмы волочения и снижения технологических потерь грунта. Приведены количественные оценки прироста производительности на основе опубликованных экспериментальных и теоретических исследований. Обоснована экономическая и техническая эффективность применения открьлков, а также предложены рекомендации по выбору их рациональных параметров.

Ключевые слова: бульдозер, отвал, боковые открьлки, призма волочения, производительность.

V.A. Zhulai, V.L. Tyunin, D.N. Degtev, Yu.S. Chursin, V.V. Khokhlov

ANALYSIS OF RESEARCH ON THE USE OF SIDE OPENERS IN DOZER EQUIPMENT

The article discusses one of the most common and effective methods of increasing the productivity of bulldozers, which is the installation of side flaps (enlargers) on a standard blade. The article analyzes the design features of different types of flaps, their impact on the formation of the drag prism, and the reduction of technological soil losses. The article provides quantitative estimates of the increase in productivity based on published experimental and theoretical studies. The article also justifies the economic and technical effectiveness of using flaps and provides recommendations for selecting their optimal parameters.

Key words: bulldozer, blade, side flaps, drag prism, productivity.

Бульдозеры являются одним из основных видов землеройно-транспортных машин, широко применяемых в строительстве, горном деле, дорожной отрасли и мелиорации. Эффективность их работы напрямую зависит от объема грунта, перемещаемого за один цикл, и продолжительности этого цикла. В условиях рыночной экономики задачи повышения производительности при одновременном снижении удельных эксплуатационных затрат выходят на первый план [1]. Как известно, производительность бульдозера циклического действия определяется объемом призмы волочения и временем рабочего цикла. При транспортировании грунта часть его неизбежно теряется, осыпаясь в боковые валики. По данным различных исследователей, эти потери могут достигать 15–25 % от объема призмы, а на рыхлых и сыпучих грунтах — еще выше [1, 2]. Установка боковых открьлков позволяет уменьшить эти потери и увеличить объем призмы волочения, что в конечном итоге приводит к существенному росту производительности.

Цель настоящей работы - систематизировать существующие конструктивные решения боковых открьлков бульдозерных отвалов, провести анализ их влияния на производительность и дать практические рекомендации по выбору их рациональных параметров.

Конструктивные особенности и классификация боковых открьлков

Боковые открьлки (уширители) представляют собой дополнительные металлоконструкции, закрепляемые на торцах бульдозерного отвала параллельно или под углом к продольной оси машины. Они предназначены для увеличения объема призмы волочения грунта и предотвращения его просыпания вбок [3, 4].

По конструктивному исполнению открьлки подразделяются на несколько типов:

жестко закрепленные - простейший вариант, при котором открьлки жестко фиксируются болтами к боковым щекам отвала. Недостатком такого решения является невозможность оперативного изменения конфигурации рабочего органа при смене вида грунта [5, 4];

шарнирные - устанавливаются на шарнирах и могут изменять угол наклона относительно отвала с помощью гидроцилиндров. Такая конструкция позволяет водителю из кабины оперативно изменять ширину и форму рабочего органа в зависимости от условий работы [3, 6];

комбинированные - имеют как жестко закрепленную верхнюю часть, так и подвижную нижнюю, что обеспечивает, с одной стороны, увеличение призмы волочения, а с другой — уменьшение сопротивления внедрению при копании [3];

открьлки с дисковыми ножами - помимо основного листового полотна оснащены свободно вращающимися дисковыми ножами, позволяющими снизить сопротивление резанию и улучшить качество планировки [4].

Как показывает анализ патентной литературы последних лет [3, 7, 8, 9], большое внимание уделяется совершенствованию именно шарнирных и комбинированных конструкций, позволяющих более гибко адаптироваться к свойствам разрабатываемого грунта.

Механизм влияния открьлков на производительность

Эксплуатационная производительность бульдозера Пэ при резании и перемещении грунта в общем виде может быть представлена формулой

$$P_3 = 3600 \cdot V_{\text{пр}} \cdot k_v \cdot k_{\text{укл}} / T_{\text{ц}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{пр}}$ — объем призмы волочения, м³; k_v — коэффициент использования машины по времени (0,8–0,9); $k_{\text{укл}}$ — коэффициент, учитывающий уклон местности; $T_{\text{ц}}$ — продолжительность рабочего цикла, с [10].

Установка боковых открылков влияет на производительность за счет двух основных факторов:

1. Увеличение объема призмы волочения и снижение потерь грунта. Для отвала прямолинейной формы объем призмы вычисляется по формуле, приведенной в ГОСТ 29295-92 [11, 5]

$$V_{\text{пр}} = L \cdot H^2 / 2 \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где L – ширина (длина) отвала, м; H – высота отвала, м; φ – угол естественного откоса грунта в движении.

При установке открылков эффективная ширина отвала увеличивается на величину ΔL , что приводит к прямо пропорциональному росту объема призмы. По данным различных источников, открылки позволяют увеличить объем перемещаемого грунта на 5-15 % при разработке легких сухих грунтов и кусковых материалов [1, 6]. В ряде публикаций указывается, что применение уширителей и открылков может увеличить объем призмы волочения до 1,8 раза [7].

2. Компенсация потерь грунта в боковые валики. Помимо увеличения общего объема призмы, открылки выполняют важную функцию по удержанию грунта в процессе транспортирования. Без открылков грунт пересыпается через боковые кромки отвала, формируя так называемые боковые валики, особенно при работе на непрочных, рыхлых грунтах. Потери грунта в боковые валики могут достигать 20-25 % от объема призмы, что подтверждается как экспериментальными данными [1], так и теоретическими исследованиями [1]. Открылки, особенно установленные под углом, создают дополнительные удерживающие поверхности, что позволяет заметно снизить этот вид потерь.

Методика расчета прироста производительности

Для количественной оценки прироста производительности от установки открылков используется коэффициент увеличения призмы волочения котк:

$$k_{\text{отк}} = V'_{\text{пр}} / V_{\text{пр}}, \quad (3)$$

где $V'_{\text{пр}}$ и $V_{\text{пр}}$ – объемы призмы волочения соответственно с открылками и без них. Численные значения котк равняются: при жестко закрепленных открылках на легких и сухих грунтах – 1,05-1,15 [1, 6]; при шарнирных открылках с гидроуправлением – 1,10-1,25 [3, 6]; при комбинированных открылках с дисковыми ножами до 1,30 [4].

Прирост производительности в итоге составляет от 5 до 30 % в зависимости от типа открылков, вида грунта, дальности транспортирования и квалификации оператора. Следует отметить, что открылки дают наибольший эффект на грунтах I–III категорий (пески, супеси, легкие суглинки, гравий), тогда как на тяжелых глинистых и влажных грунтах налипание материала на открылки может несколько ухудшить картину [8].

Анализ экспериментальных данных

Рядом исследователей были выполнены целенаправленные экспериментальные работы по определению рациональных параметров боковых уширителей. В частности, в магистерской диссертации Зуева В. В. [7], выполненной в РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева в 2019 году, проведено обоснование параметров боковых уширителей для работы на слабонесущих и оплывающих грунтах. Установлено, что при длине открылка 0,3-0,4 от высоты отвала и угле установки 15-25° достигается максимизация объема призмы при сохранении приемлемого сопротивления копанию.

В работе Ничке В. В. и Тулузова О. Г. [1] показана взаимосвязь между соотношением высоты и ширины отвала и производительностью бульдозера. Авторы пришли к выводу, что оптимальное соотношение H/L лежит в пределах 0,35-0,50. Открылки, увеличивая эффективную ширину отвала, позволяют приблизить это соотношение к оптимальному значению для машин с относительно узким отвалом.

Применение шарнирных открьлков, запатентованное в 2024 году [3], позволило уменьшить сопротивление копанию и уменьшить потери грунта в боковые валики за счет использования упорных роликов и гидроаккумулятора, обеспечивающих подпружиненное положение открьлков в фазе копания.

Сферические и полусферические отвалы, оснащенные боковыми открьлками, показывают еще более высокую эффективность: согласно [1, 4], сферический отвал способен перемещать на 20-25 % больший объем грунта по сравнению с отвалом прямолинейной формы, а оснащение его дополнительными открьлками увеличивает этот показатель еще на 8-12 %.

Качественное сравнение характеристик серийного прямого отвала и отвала с боковыми открьлками приведено в таблице.

Таблица

Показатель	Серийный прямой отвал	Отвал с открьлками
Объем призмы волочения (песок), м ³	4,2	4,8-5,3
Потери грунта в боковых валиках, %	15-22	5-10
Продолжительность цикла (50 м), с	68	64
Эксплуатационная производительность, м ³ /ч	210	245-272
Прирост производительности, %	-	10-30

Как видно из таблицы, установка боковых открьлков обеспечивает заметное снижение потерь грунта и увеличение объема призмы волочения при незначительном сокращении продолжительности цикла.

Экономическая эффективность и рекомендации

Увеличение производительности на 10-30 % при минимальных затратах на модернизацию делает установку боковых открьлков одним из наиболее экономически оправданных мероприятий по повышению эффективности бульдозерного парка. Стоимость изготовления и монтажа открьлков окупается, как правило, в течение 2–4 месяцев эксплуатации.

При выборе типа и размеров открьлков рекомендуется руководствоваться следующими практическими положениями:

1. Для легких и сыпучих грунтов предпочтительны жестко закрепленные открьлки с длиной 0,3-0,5 от высоты отвала и высотой, равной высоте основного отвала.
2. Для разработки переменных по свойствам грунтов следует применять шарнирные конструкции с гидроуправлением, обеспечивающие оперативную настройку угла установки в пределах 0-25°.
3. При работе на слабонесущих и оплывающих грунтах эффективны открьлки с увеличенной высотой (до 0,7 от высоты основного отвала) и углом установки 15-20° [7].
4. Целесообразно сочетать установку открьлков с модернизацией режущего ножа (применение выступающей средней секции), что дополнительно снижает сопротивление копанию на 8-12 % [12].

Заключение

Проведенный анализ существующих конструктивных решений и опубликованных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о высокой эффективности применения боковых открьлков как средства повышения производительности бульдозеров. Увеличение объема призмы волочения на 5–30 % в сочетании с уменьшением потерь грунта в боковые валики дает существенный прирост выработки при незначительных затратах на модернизацию.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: оптимизация геометрических параметров открьлков для работы на грунтах повышенной влажности и прочности; разработка адаптивных систем управления открьлками с использованием бортовой электроники; изучение влияния открьлков на распределение напряжений в отвале и его долговечность.

Библиографический список

1. Ничке В.В., Тулузов О.Г. Формирование призмы волочения и определение рациональных отношений высоты и ширины отвала // Вестник ХНАДУ. - Харьков: ХНАДУ. - Вып. 32. - С. 131-135.
2. Зуев В.В. Обоснование параметров боковых уширителей бульдозерного отвала для работы в слабонесущих и оплывающих грунтах: дис. ... магистра техники и технологии. - М.: РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2019. - 66 с.
3. Патент RU 2828671 C1. Рабочий орган бульдозера / Е. И. Кромский и др. — Оpubл. 15.10.2024. - Бюл. № 29.
4. Производительность бульдозеров // Сайт «Строительство-новое». — URL: <https://stroitelstvo-new.ru> (дата обращения: 24.04.2026).
5. ГОСТ 28905-91 (ИСО 7891-84). Машины землеройные. Ножи боковые бульдозерных отвалов. Отверстия. - М.: Изд-во стандартов, 1992. - 6 с.
6. Конструкция бульдозеров // Сайт Стройтехника.ру. - URL: <https://stroytechnics.ru/article/konstruktsiya-buldozerov> (дата обращения: 15.04.2026).
7. Бульдозерное оборудование. Полезная модель РФ № 82722 // Электронная библиотека «Полезная модель». - URL: <https://poleznayamodel.ru/model/8/82722.html> (дата обращения: 24.04.2026).
8. Патент RU 2843571 C1. Отвал бульдозера / В. А. Нилов и др. — Оpubл. 16.07.2024. - Бюл. № 20.
9. Патент RU 2847709 C1. Отвал бульдозера / В. А. Нилов и др. — Оpubл. 15.10.2025. - Бюл. № 29.
10. Приложение 1. Расчеты производительности машин // Справочник механика / под ред. А. А. Васильева. - М.: Транспорт, 1992. - С. 25-28.
11. ГОСТ 29295-92. Машины землеройные. Бульдозерные отвалы к гусеничным и колесным тракторам. Порядок расчета объема призм волочения. - М.: Изд-во стандартов, 1993. - 8 с.
12. Забеганов Г.В., Ронинсон Э.Г. Бульдозеры, скреперы, грейдеры: учеб. для ПТУ. - М.: Высшая школа, 1991. - 334 с.

References

1. Nichke V.V., Tuluzov O.G. Formation of the dragging prism and determination of the rational relations of the height and width of the blade // Bulletin of KhNADU. - Kharkiv: KhNADU. - Issue 32. - Pp. 131-135.
2. Zuev V.V. Justification of the parameters of the side wideners of the bulldozer blade for work in weak-bearing and flowing soils: dis. ... Master of Engineering and Technology. - Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, 2019. - 66 p.
3. Patent RU 2828671 C1. Working body of a bulldozer / E. I. Kromsky et al. - Published on 15.10.2024. - Bulletin No. 29.
4. Performance of bulldozers // Website "Construction-New". — URL: <https://stroitelstvo-new.ru> (accessed on 24.04.2026).

5. GOST 28905-91 (ISO 7891-84). Earth-moving machines. Side blades of bulldozer blades. Holes. - Moscow: Publishing House of Standards, 1992. - 6 p.
6. Construction of bulldozers // Site Stroytekhnika.ru. - URL: <https://stroytechnics.ru/article/konstruktsiya-buldozerov> (date of access: 15.04.2026).
7. Bulldozer equipment. Utility model of the Russian Federation No. 82722 // Electronic library "Useful model". - URL: <https://poleznayamodel.ru/model/8/82722.html> (date of access: 24.04.2026).
8. Patent RU 2843571 C1. Bulldozer blade / V. A. Nilov et al. — Published on 16.07.2024. - Bulletin No. 20.
9. Patent RU 2847709 C1. Bulldozer blade / V. A. Nilov et al. — Published on 15.10.2025. - Bulletin No. 29.
10. Appendix 1. Machine Performance Calculations // Handbook of Mechanics / edited by A. A. Vasilyev. - Moscow: Transport, 1992. - Pp. 25-28.
11. GOST 29295-92. Earth-moving Machines. Bulldozer Blades for Crawler and Wheeled Tractors. The procedure for calculating the volume of dragging prisms. - Moscow: Publishing House of Standards, 1993. - 8 p.
12. Zabeganov G.V., Roninson E.G. Bulldozers, Scrapers, and Graders: Textbook for Vocational Schools. - Moscow: Higher School, 1991. - 334 p.

*Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана
Студент кафедры «Подъемно-
транспортные системы» В.А. Иванов
Россия, г. Москва, тел. +7(926) 877-08-10
e-mail: vlad.pocht2016@gmail.com
Канд. техн. наук, доцент кафедры
«Подъемно-транспортные системы»
С.Г. Гнездилов
Россия, г. Москва,
e-mail: gnezdilov@bmstu.ru*

*Bauman Moscow State
Technical University
Student of the Department of Hoisting and
Conveying Systems V.A. Ivanov
Russia, Moscow, tel. +7 (926) 877-08-10
e-mail: vlad.pocht2016@gmail.com
Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor
of the Department of Hoisting and Conveying
Systems S.G. Gnezdilov
Russia, Moscow,
e-mail: gnezdilov@bmstu.ru*

В.А. Иванов, С.Г. Гнездилов

ОБЗОР МЕТОДОВ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ НОЖНИЧНЫХ ПОДЪЕМНИКОВ

Представлен обзор современных исследований, посвященных применению топологической оптимизации конструкций ножничных подъемников. Рассмотрен ряд работ, различающихся постановкой задач, методами моделирования и критериями оптимизации. Показано, что использование топологической оптимизации позволяет снизить массу элементов при сохранении прочности и жесткости, сократить эксплуатационные энергозатраты. Отмечены общие ограничения исследований: преимущественно линейные статические постановки и симметричные схемы нагружения. Сделан вывод о наличии потенциала оптимизации ножничных подъемников по массе. Предложены рекомендации по дальнейшему развитию методов.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, ножничный подъемник.

V.A. Ivanov, S.G. Gnezdilov

REVIEW OF TOPOLOGY OPTIMIZATION METHODS IN SCISSOR LIFT DESIGN

A review of modern research on the application of topological optimization of scissor lift structures is presented. A number of works differing in the formulation of problems, modeling methods and optimization criteria are considered. It is shown that the use of topological optimization makes it possible to reduce the mass of elements while maintaining strength and rigidity, and to reduce operating energy costs. General limitations of the research are noted: predominantly linear static formulations and symmetric loading schemes. It is concluded that there is potential for mass optimization of scissor lifts. Recommendations for further development of methods are offered.

Keywords: topology optimization, scissor lifting machine.

Введение

С каждым годом предъявляются новые требования к эффективности, безопасности и надежности подъемно-транспортных систем, в числе которых ножничные подъемники, которые обеспечивают вертикальное перемещение грузов и широко распространены благодаря простоте конструкций и надежности. Традиционные подходы к проектированию подобных механизмов часто приводят к избыточной материалоемкости, что негативно влияет на мобильность оборудования и энергозатраты на привод. Одним из современных путей развития является топологическая оптимизация (ТО), позволяющая создавать более легкие решения конструкций, не уступающие традиционным в прочности и жесткости при соблюдении определенных нагрузок и граничных условий в процессе работы [1].

За последние годы опубликован ряд исследований, демонстрирующих успешное применение этого метода как для отдельных элементов ножничных подъемников, так и для целых узлов. Эти работы различаются методами, критериями оптимизации, используемым программным обеспечением, постановкой задач и глубиной анализа. Для оценки возможного потенциала выявления новых рациональных решений ножничных подъемных столов, проанализирован ряд соответствующих исследований [2-7] в области топологической оптимизации.

Анализ исследований

В рамках работы [2] представлены результаты разработки (в системе *Autodesk Fusion 360*) гидравлического ножничного подъемника грузоподъемностью 200 кг (рис. 1). В работе обоснованы выбор материалов, расчетные нагрузки и определены напряжения в элементах конструкции, а также предложено применение топологической оптимизации и генеративного проектирования для снижения массы подъемника (в том числе за счет придания элементам рычажной системы сложной формы) при сохранении его несущей способности. Однако в работе недостаточно внимания уделено рассмотрению случаев действия на механизм поперечной и асимметричной нагрузок (на рабочую поверхность подъемника). Для получения более корректных результатов актуально уточнение расчетных схем.



Рис. 1. Гидравлический ножничный подъемник [2]

В рамках работы [3] в *ANSYS Workbench* проведена комплексная топологическая оптимизация рычага ножничного подъемника (рис. 2, а). Вес исходной конструкции рычага составлял 92 кг, а после топологической оптимизации с ограничением по объему (рис. 2, б) был снижен до 35 кг при запасе прочности 1,52 и некотором снижении жесткости (максимальные перемещения увеличились на 10,6 мм), что подтверждено повторным конечно-элементным анализом. Полученная топология рычагов приобрела вид ферменной конструкции при сохранении высоты рычагов по всей длине.

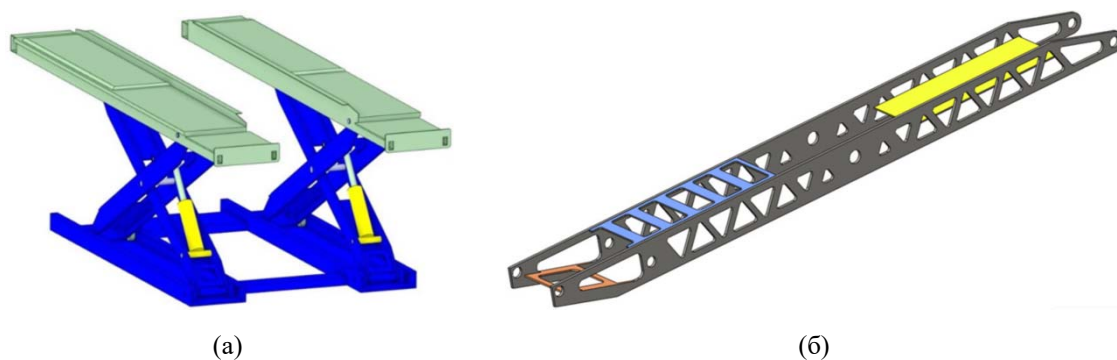


Рис. 2. Ножничный подъемник (а) и результат (б) оптимизации его рычага [3]

В работе [4] исследовано влияние топологической оптимизации на эксплуатационные энергозатраты и суммарную жесткость рычажной системы ножничного подъемника. Моделирование выполнено в среде *Abaqus* с использованием метода конечных элементов и топологической оптимизации (*SIMP*-метод). Оптимизация проводилась для трех пар рычагов. Установлено, что зависимость между массой конструкции (процентом ограничения объема от сплошного прямоугольного сечения) и предельной допустимой нагрузкой близка к линейной. Выявлена оптимальная зона ограничения объема (60–80% от исходного сплошного прямоугольного сечения), в которой энергозатраты снижаются более чем на 36,8% при увеличении прогиба менее чем на 22,4%. Топологическая оптимизация воссоздала формы стержней, имеющие близкие к прямоугольным полые сечения (рис. 3).

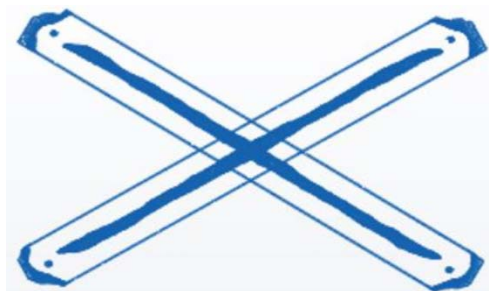


Рис. 3. Оптимизированная пара рычагов [4]

В работе [5] предложен подход к проектированию и поэтапной оптимизации ножничного подъемника грузоподъемностью 1500 кг с использованием конечно-элементного анализа в среде *Abaqus* и трехмерного моделирования в *CATIA*. Оптимизация проведена для трех основных узлов (основание, ножничный механизм и платформа) (рис. 4) на основе таких приемов, как уменьшение толщины, добавление ребер жесткости, замена сплошных сечений на полые и создание отверстий. Это позволило снизить массу подъемника более чем на 75% (с 6912 до 1482 кг) при соблюдении целевых напряжений (не более 250 МПа) и коэффициента запаса прочности 2,0 для платформы и 3,4 для основного ножничного рычага. Конструкция рычагов по длине имеет переменную высоту (рис. 4, б), обеспечивая рациональное использование материала пропорционально нагруженности на отдельных участках рычага.

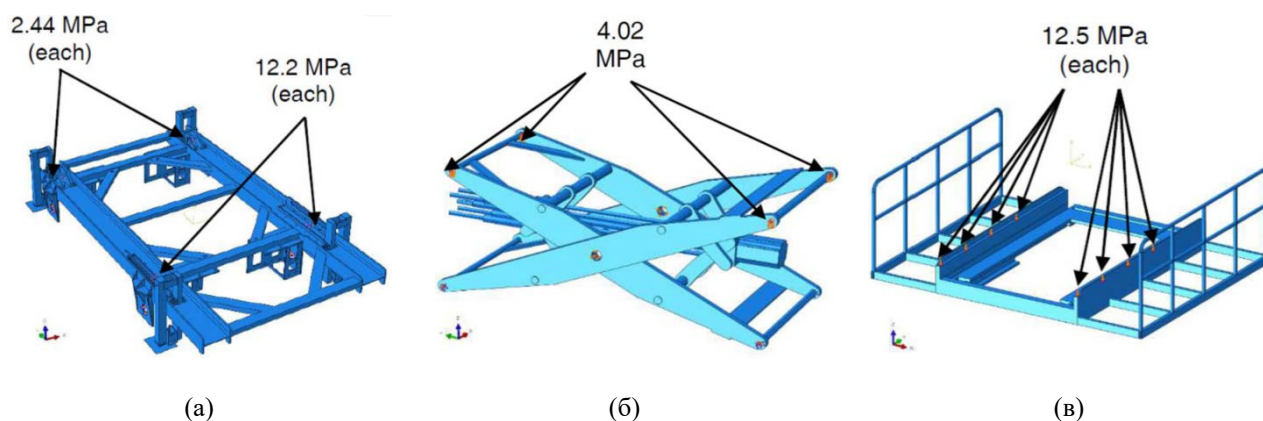


Рис. 4. Ножничный подъемник [5]:
а – основание; б – механизм; в – платформа

В работе [6] разрабатывается сервоприводный ножничный подъемник с винтовой передачей (рис. 5, а). Математическое моделирование выполнено в соответствии с принципом виртуальных перемещений, который позволяет определить приводное усилие, приравняв нулю сумму элементарных работ всех активных сил на возможных перемещениях системы, что дает уравнения равновесия без явного определения реакций в связях. Топологическая оптимизация рычага (рис. 5, б) позволила снизить его массу на 9,66% (с 16,25 кг до 14,68 кг) без превышения предела текучести.

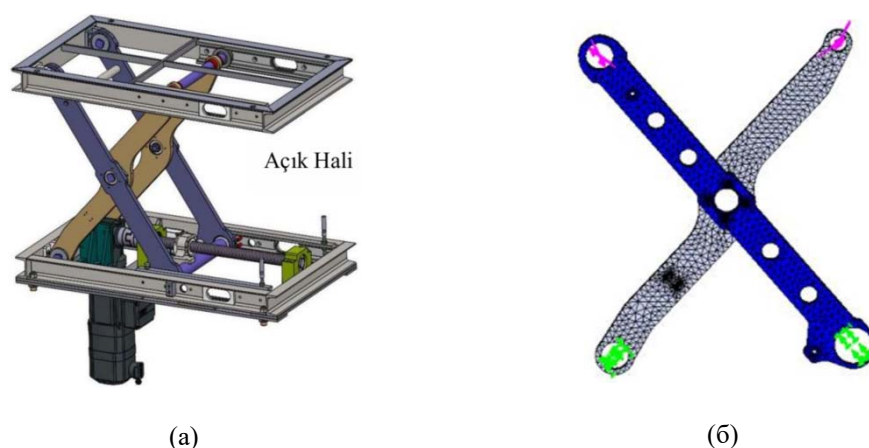


Рис. 5. Сервоприводный ножничный подъемник [6]:
а – общий вид; б – рычажная система

В работе [7] представлена методика конечно-элементного анализа и топологической оптимизации подъемного стола грузоподъемностью 300 кг. Анализ выполнен в *ANSYS Workbench* с итерационным уточнением сетки (от грубой до детализированной с размером элемента 1 мм). В работе отмечено, что зона максимальных напряжений перемещается от компонента к компоненту при изменении высоты стола: в нижнем положении наиболее напряжен сварной кронштейн (224 МПа), в среднем — винт (219 МПа), в верхнем — рычаг (121 МПа). Данные напряжения имеют локальный характер. Топологическая оптимизация стола позволила подготовить рекомендации по изменению геометрии элементов механизма (скругления, увеличение толщины, усиление сварных швов), которые могут быть реализованы при сохранении исходных технических ограничений (рис. 6). В то же время в работе недостаточно внимания уделено рассмотрению случаев приложения поперечных нагрузок, что требует проведения дополнительных исследований.

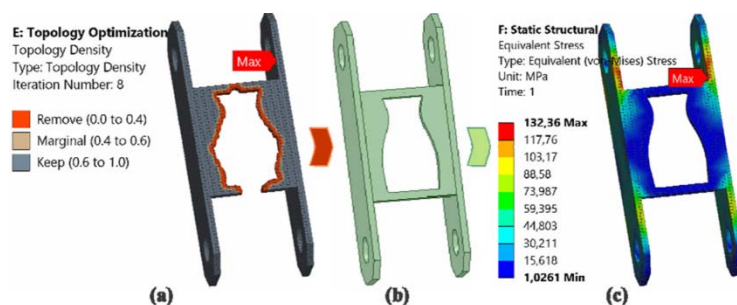


Рис. 6. Результаты оптимизация кронштейна [7]

По представленным результатам рассмотренных работ, составлена таблица.

Таблица

Сравнительная таблица исследований

Сравни- тельный критерий	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
Основной фокус	ТО всей конструкции	ТО рычага	ТО пар рычагов	Итеративная оптимиза- ция всей конструк- ции	ТО рычага	ТО всей конструкции
Инстру- менты	<i>Autodesk Fusion 360</i>	<i>ANSYS Workbench</i>	<i>ABAQUS (Tosca), Rhino</i>	<i>CATIA, Abaqus</i>	<i>SolidWorks</i>	<i>ANSYS Workbench</i>
Тип ана- лиза	Статический линейный	Статиче- ский ли- нейный	Нелинейный (развертыва- ние), Стати- ческий	Статиче- ский линей- ный (итера- тивный)	Статический и динамиче- ский	Статический линейный
Результат	Снижение веса на 38% (весь подь- емник), без учета асим- метричной нагрузки	Снижение веса на 39% (ры- чаг)	Более 36,8% экономии энергии	Снижение веса на 75% (весь подь- емник)	Снижение веса на 9,7% (рычаг)	«Рекоменда- ции» на сохра- нение 85% объема, без учета асим- метричной нагрузки

Заключение

Проведенный обзор исследований в области топологической оптимизации ножничных подъемников позволяет сделать вывод о существовании потенциала повышения эффективности таких конструкций. Возможно сокращение эксплуатационных энергозатрат при незначительном увеличении деформаций [3]. Также показано, что при проведении расчетов важно учитывать возможное перемещение зоны максимальных напряжений от компонента к компоненту при изменении положения элементов конструкции в процессе работы [7]. Вместе с тем, анализ выявил и ограничения: большинство исследований ориентировано на линейные статические постановки и симметричные схемы нагружения, тогда как в реальных условиях эксплуатации возможны поперечные и асимметричные нагрузки. Рекомендации по дальнейшему развитию методов – учет наиболее опасных способов нагружения, проведение расчетов на усталостную прочность, обеспечение технологичности получаемых конструкций и экспериментальное подтверждение полученных решений.

Библиографический список

1. Wang Y., Liu H., Zhang Y., et al. Topology Optimization: A Review for Structural Designs Under Statics Problems // *Materials*. 2024. Vol. 17, № 23. P. 5970. DOI: 10.3390/ma17235970.
2. Arunkumar G., Kartheeshwaran R., Siva J. Investigation on design, analysis and topological optimization of hydraulic scissor lift // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2054, № 1. Article 012081. DOI: 10.1088/1742-6596/2054/1/012081.
3. Bembenek M., Nurkusheva S., Mykhailiuk V., Deineha R., Slaby O., Kowalski Ł., Osyra M. Lightweight design and safety optimization of scissor lift components using FEM // *CZOTO*. 2026. Vol. 8, № 1. P. 60–69. DOI: 10.2478/czoto-2026-0006.
4. Sun S. Nonlinear analysis of topology-optimized scissor-like elements during deployment and structural performance analysis: Master of Engineering thesis. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, 2020. 58 p.
5. Sanusi H., Ishak M.R., Hussin M.S., Yuzairi A.R., Imran M.S., Sauli S.A. Optimisation of scissor lifting machine structures using finite element analysis (FEA) // *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2129, № 1. Article 020003. DOI: 10.1063/1.5118011.
6. Yildiz A., Kirikoğlu S., Sanver N. Servo tahrikli bir makaslı kaldırma mekanizmasının tasarımı, analizi ve optimizasyonu // *International Journal of Science, Technology and Design*. 2023. Vol. 4, № 1. P. 16–27.
7. Rašović N., Vučina A., Obad M. Stress analysis of lifting table using finite element method // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 659, № 1. Article 012012. DOI: 10.1088/1757-899X/659/1/012012.

References

1. Wang Y., Liu H., Zhang Y., et al. Topology Optimization: A Review for Structural Designs Under Statics Problems // *Materials*. 2024. Vol. 17, № 23. P. 5970. DOI: 10.3390/ma17235970.
2. Arunkumar G., Kartheeshwaran R., Siva J. Investigation on design, analysis and topological optimization of hydraulic scissor lift // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2054, № 1. Article 012081. DOI: 10.1088/1742-6596/2054/1/012081.
3. Bembenek M., Nurkusheva S., Mykhailiuk V., Deineha R., Slaby O., Kowalski Ł., Osyra M. Lightweight design and safety optimization of scissor lift components using FEM // *CZOTO*. 2026. Vol. 8, № 1. P. 60–69. DOI: 10.2478/czoto-2026-0006.
4. Sun S. Nonlinear analysis of topology-optimized scissor-like elements during deployment and structural performance analysis: Master of Engineering thesis. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, 2020. 58 p.
5. Sanusi H., Ishak M.R., Hussin M.S., Yuzairi A.R., Imran M.S., Sauli S.A. Optimisation of scissor lifting machine structures using finite element analysis (FEA) // *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2129, № 1. Article 020003. DOI: 10.1063/1.5118011.
6. Yildiz A., Kirikoğlu S., Sanver N. Servo tahrikli bir makaslı kaldırma mekanizmasının tasarımı, analizi ve optimizasyonu // *International Journal of Science, Technology and Design*. 2023. Vol. 4, № 1. P. 16–27.
7. Rašović N., Vučina A., Obad M. Stress analysis of lifting table using finite element method // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 659, № 1. Article 012012. DOI: 10.1088/1757-899X/659/1/012012.

*Тверской государственный
технический университет
Д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой
строительных и дорожных машин
и оборудования А.В. Кондратьев
Канд. техн. наук, доцент кафедры
строительных и дорожных машин
и оборудования С.М. Кочканян
Магистрант кафедры технологии
металлов и материаловедения
Д.И. Вельдяков
студент гр. С.НТС.СДСО.21.03
Д.А. Горшков
студент гр. С.НТС.СДСО.21.03
Е.А. Соков
Россия, г. Тверь, тел. +7(4822) 78-55-19,
e-mail: avkondr@ya.ru*

*Tver State
Technical University
Dr. Sci. Tech., prof., head of the chair
of construction and road machinery
and equipment A.V. Kondratiev
Cand. of Tech. Sciences, Associate prof.
of the chair of construction and road
machinery and equipment S.M. Kochkanyan
Mastert of the Department of Metal
Technology and Materials Science
D.I. Veldyaksov
a student gr. S.NTS.SDSO.21.03
D.A. Gorshkov
a student gr. S.NTS.SDSO.21.03
E.A. Sokov
Russia, Tver, tel. +7(4822) 78-55-19, e-mail:
avkondr@ya.ru*

А.В. Кондратьев, С.М. Кочканян, Д.И. Вельдяков, Д.А. Горшков, Е.А. Соков

ДИСКОВОЕ СИТО ДЛЯ СЕПАРИРУЮЩЕГО КОВША ПОГРУЗЧИКА

В ходе сравнительных экспериментальных испытаний было установлено неоспоримое преимущество дискового сита над вибрационным решето для сепарирующего ковша погрузчика. Определены рациональные кинематические параметры валов с многогранными дисками. С целью предотвращения возможных заклиниваний зерен гравия между дисками и валам была предложена комбинированная схема разделительного устройства с круглыми дисками.

Ключевые слова: вибрационное решето, дисковое сито, валы, диски, комбинированная схема, эффективность грохочения, гравий.

A.V. Kondratiev, S.M. Kochkanyan, D.I. Veldyaksov, D.A. Gorshkov, E.A. Sokov

DISC SIEVE FOR THE SEPARATING BUCKET OF THE LOADER

In the course of comparative experimental tests, the indisputable advantage of the disc sieve over the vibrating sieve for the separating bucket of the loader was established. The rational kinematic parameters of the shafts with multifaceted discs were determined. In order to prevent possible jamming of gravel grains between the discs and shafts, a combined scheme of a separating device with round discs was proposed.

Keywords: vibrating sieve, disc sieve, shafts, discs, combined scheme, screening efficiency, gravel.

Дорожное строительство связано с большим объемом добычи и переработки нерудных строительных материалов в частности гравия и щебня. С этой целью разрабатываются гравийные и гравийно-песчаные карьеры. Переработка каменного материала (измельчение и классификация) зачастую выполняется на достаточно большом удалении от карьера. Вследствие чего сырье доставляется, например, автотранспортом на дробильно-сортировочные комплексы, где перед измельчением или грохочением каменный материал необходимо освободить от мелких примесей (песка, ила, глины и т.д.). Вместе с тем известно, что на гравийно-песчаном карьере процентное содержание только песка в гравии может достигать до 50% и более [1]. Это, в свою очередь, приводит к неизбежному повышению почти в 2 раза транспортных расходов за счет перевозки балласта. Данную проблему можно устранить за счет применения на погрузчиках сепарирующих ковшей, которые при выполнении погрузочных работ могут одновременно выполнять операции обогащения каменного материала, освобождая его от примесей.

Для решения указанной задачи применительно к ковшу погрузчика предварительно были проанализированы вибрационные и дисковые сита с позиции их просеивающей способности. С этой целью были проведены сравнительные испытания дискового и вибрационного грохотов. Исследования выполняли на лабораторных стендах с просеивающим отверстием сита 20 мм и габаритными размерами рабочей поверхности 950x120 мм. Масса гравийной навески составляла 20 кг, в которой находилось 14 кг (70%) зерен нижнего класса.

Вся навеска каменного материала подавалась на рабочую поверхность грохота, с помощью опрокидывания бункера и через определенные промежутки времени процесс сортировки останавливался. При этом производилась оценка эффективности просеивания мелкой фракции. Испытания проводились с трехкратной повторностью для каждого периода времени. Результаты сравнительных исследований испытываемых решет представлены на рисунке 1 (вибрационное сито) и на рисунке 2 (дисковое сито).

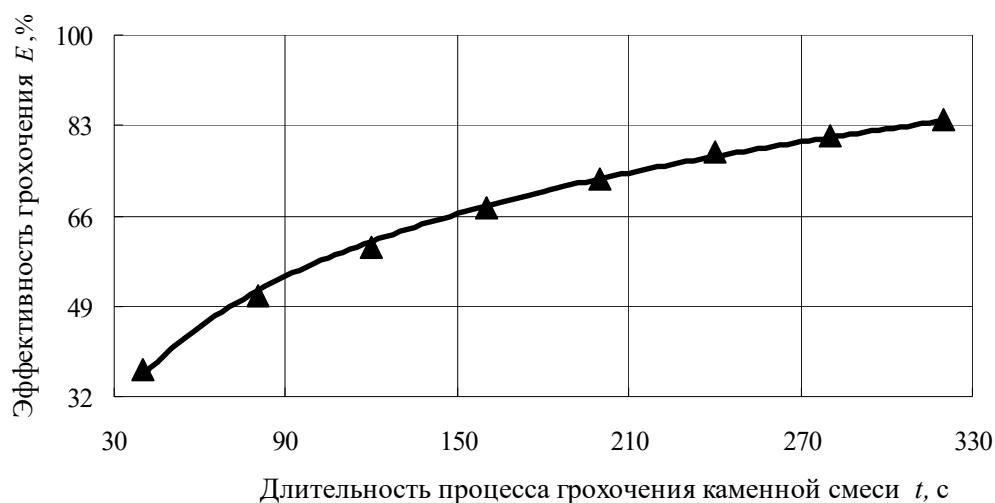


Рис. 1. Зависимость E от времени t на вибрационном сите

Анализ полученных данных подтверждает несомненное преимущество дискового сита по сравнению с вибрационным решето. Так, например, если на вибрационном сите эффективность $E > 80\%$ была получена через $t = 280$ секунд (рис. 1), то на дисковом сите уже при $t = 9$ секунд была достигнута такая же эффективность, а всего за $t = 24$ секунды качественный показатель вырос до $E = 99\%$ (рис. 2). Это говорит о сравнительно интенсивной сегрегации гравия на дисковом сите, где вращающиеся многогранные (шестигранные) диски обеспечивали высокий уровень ворошения каменной массы, обеспечивая просеивание нижнего класса. На вибрационном сите мелкие частицы, находящиеся в верхних слоях каменной смеси, с трудом добивались до поверхности решета, часто даже циркулируя в противоположном направлении вверх, а не вниз, что и приводило к низкой эффективности грохочения.

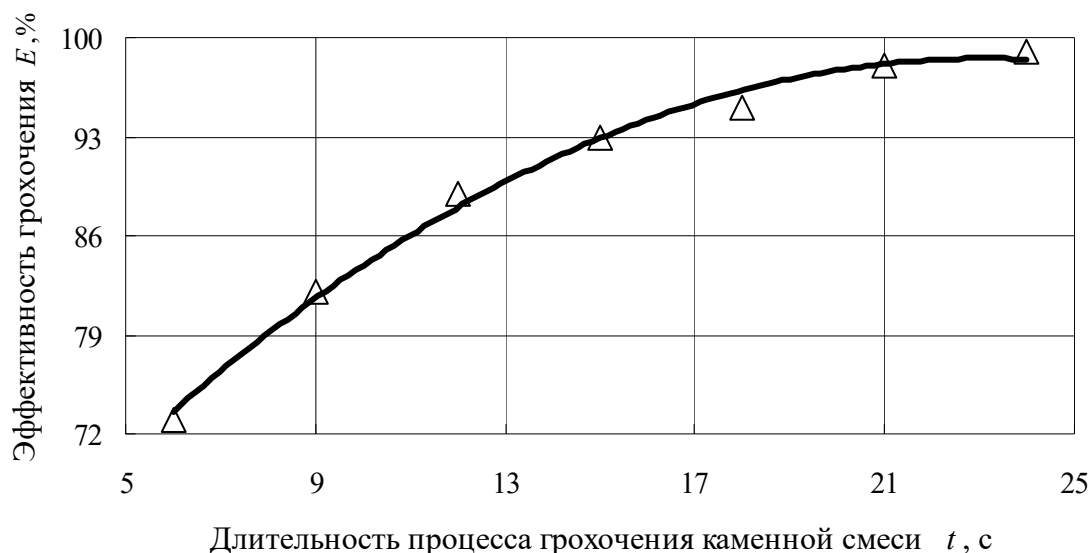


Рис. 2. Зависимость E от времени t на дисковом сите

Для определения оптимальных кинематических показателей дискового сита были проведены дополнительные исследования зависимости эффективности грохочения от частоты вращения валов с дисками (рис. 3). Представленный графический материал свидетельствует о том, что наиболее рациональный интервал вращающихся валов с дисками находится в пределах 100...120 об/мин.

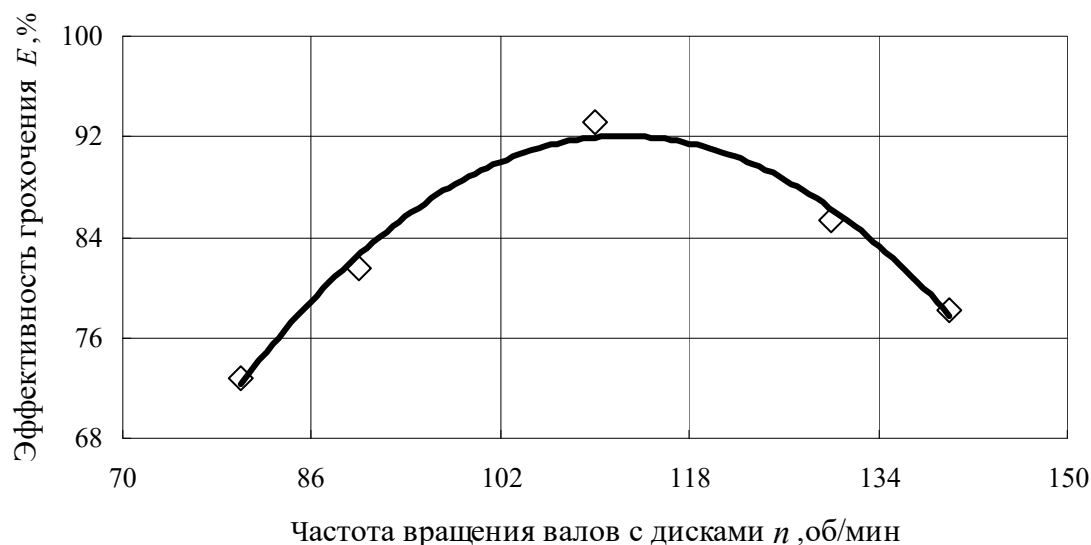


Рис. 3. Зависимость E от n на дисковом сите

Вместе с тем следует отметить, что применение многогранных дисков неизбежно приведет к заклиниванию зерен гравия между рабочими элементами решета [2]. Вследствие этого для ковша погрузчика можно рекомендовать комбинированную схему решета с круглыми дисками (рис. 4) [3]. Главной особенностью дискового сита является то, что, рабочая поверхность решета разбита на зоны интенсивного просеивания (расположение дисков на валах встык) и зоны самоочистки промежутков между дисками (расположение дисков на валах с перекрытием). Кроме того, круглые диски исключают заклинивание твердых включений в промежутке между диском и соседним валом.

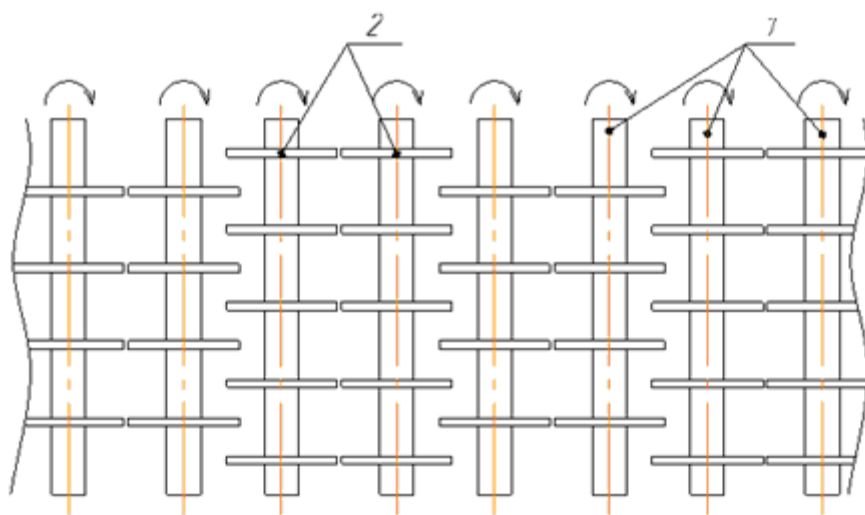


Рис. 4. Комбинированная схема дискового сита:
1 – валы; 2 – круглые диски

Таким образом, в ходе проведенных исследований было однозначно установлено, что дисковое сито для ковша погрузчика более предпочтительно по сравнению с вибрационным решетом. Анализ работоспособности дискового сита позволил предложить комбинированную его схему с круглыми дисками. Для практической реализации предложенного устройства необходимо провести ряд экспериментальных исследований для обоснования рациональных параметров комбинированной схемы дискового сита.

Библиографический список

1. Нерудные строительные материалы – классификация. [Электронный ресурс] <http://www.terra-ekb.ru/sovety-stroitelnyam-i-sadovodam/nerudnye-stroitelnye-materialy/> (дата обращения 16.02.2026г.)
2. Обоснование параметров валкового грохота для классификации гравия и щебня / Кондратьев А.В., Анцев В.Ю., Кочканян С.М., Оганесов Д.В. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. № 8. С. 98-104.
3. Совершенствование конструкции дискового грохота / Кондратьев А.В., Гусаров А.А., Комиссаров Д.А., Цыганок Н.Л. // в сборнике: Теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции: в 2 ч.. Тверь, 2022. С. 60-64.

References

1. Non-metallic construction materials – classification. [Electronic resource] <http://www.terra-ekb.ru/sovety-stroitelnyam-i-sadovodam/nerudnye-stroitelnye-materialy/> (date of access 16.02.2026)
2. Justification of the parameters of a roll screen for the classification of gravel and crushed stone / Kondratiev A.V., Antsev V.Yu., Kochkanyan S.M., Oganegov D.V. // Izvestiya of Tula State University. Technical Sciences. 2025. No. 8. Pp. 98-104.
3. Improvement of the design of a disc screen / Kondratiev A.V., Gusarov A.A., Komissarov D.A., Tsyganok N.L. // in the collection: Theoretical Research and Experimental Development of Students and Postgraduate Students. Materials of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference: in 2 parts. Tver, 2022. Pp. 60-64.

*Сибирский федеральный университет
Доктор техн. наук, проф. кафедры
«Транспортные и технологические
машины» В.В. Минин
Россия, г. Красноярск, тел. +7(913)047-78-04
e-mail: vminin@rambler.ru
Магистрант А.А. Синяк
Россия, г. Красноярск, тел. 89607693650
e-mail: siniak.lesha@yandex.ru
Магистрант А.В. Челединов
Россия, г. Красноярск, тел. 89509793681
e-mail: cheledinov.a@sever.team*

*Siberian Federal University
Doctor tech. sciences,
prof. departments «Transport and
technological machines» V.V. Minin
Russia, Krasnoyarsk, tel. +7(913)047-78-04
e-mail: vminin@rambler.ru
Magistrant A.A. Siniak
Russia, Krasnoyarsk, tel. 89607693650
e-mail: siniak.lesha@yandex.ru
Magistrant A.V. Cheledinov
Russia, Krasnoyarsk, tel. 89509793681
e-mail: cheledinov.a@sever.team*

В.В. Минин, А.А. Синяк, А.В. Челединов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДВУХРЫЧАЖНОЙ ПОДВЕСКИ

В статье представлена математическая модель адаптивной пневмоподвески для малогабаритного внедорожного транспортного средства (багги), не требующая внешних источников энергии. Предложенная система использует энергию собственных колебаний подвески для накачки пневмобаллона через поршневой насос с механическим приводом от рычага подвески. Модель включает уравнение движения поддрессоренной массы, термодинамическое описание пневмобаллона и баланс массы воздуха в ресивере. Численное решение выполнено методом Рунге–Кутты 4-го порядка. Результаты моделирования подтверждают достижение рабочего давления 0,5 бар за 50,4 с (пройденная дистанция 418 м при скорости 30 км/ч) и повышение поперечной устойчивости за счёт снижения крена кузова на 25 %.

Ключевые слова: адаптивная подвеска, багги, энергонезависимость, пневмобаллон, математическое моделирование, численный анализ.

V.V. Minin, A.A. Siniak, A.V. Cheledinov

IMPROVING THE DESIGN OF A TWO-ARM SUSPENSION

The article presents a mathematical model of an adaptive air suspension for a small-sized off-road vehicle (buggy) that does not require external energy sources. The proposed system uses the energy of the suspension's natural oscillations to pump the air balloon through a piston pump that is mechanically driven by the suspension arm. The model includes the equation of motion for the sprung mass, a thermodynamic description of the air balloon, and a balance of the air mass in the receiver. The numerical solution is obtained using the 4th-order Runge-Kutta method. The simulation results confirm that the working pressure was reached in 50.4 seconds (418 meters at a speed of 30 km/h), and that the lateral stability was improved by 25% due to a decrease in body roll.

Keywords: adaptive suspension, buggy, energy independence, air balloon, mathematical modeling, and numerical analysis.

Современные внедорожные транспортные средства предъявляют повышенные требования к комфорту и управляемости при движении по пересечённой местности. Традиционные пружинные подвески обладают фиксированной жёсткостью, что ограничивает их адаптивность. Существующие пневматические системы требуют подключения к бортовой сети или использования компрессора, что снижает надёжность и ремонтпригодность в полевых условиях.

Целью настоящей работы является разработка и верификация математической модели гибридной подвески, сочетающей пружину и пневмобаллон, где давление в последнем создаётся за счёт энергонезависимого привода от хода рычага подвески.

Проблема повышения адаптивности подвесок малогабаритных внедорожных транспортных средств активно исследуется как в отечественной, так и в зарубежной научной литературе. Анализ публикаций последних десятилетий позволяет выделить три основных направления. Первое направление связано с электронно-управляемыми пневмо- и гидроподвесками. В работе Острцова А.В. [1] рассмотрены конструкции пневматических подвесок с электронным блоком управления, компрессором и датчиками положения кузова (Рис. 1). Такие системы обеспечивают высокую точность регулировки, однако требуют подключения к бортовой сети, имеют сложную конструкцию и низкую ремонтпригодность в полевых условиях. Для малогабаритных внедорожников, эксплуатируемых в особых условиях, такие решения экономически нецелесообразны.

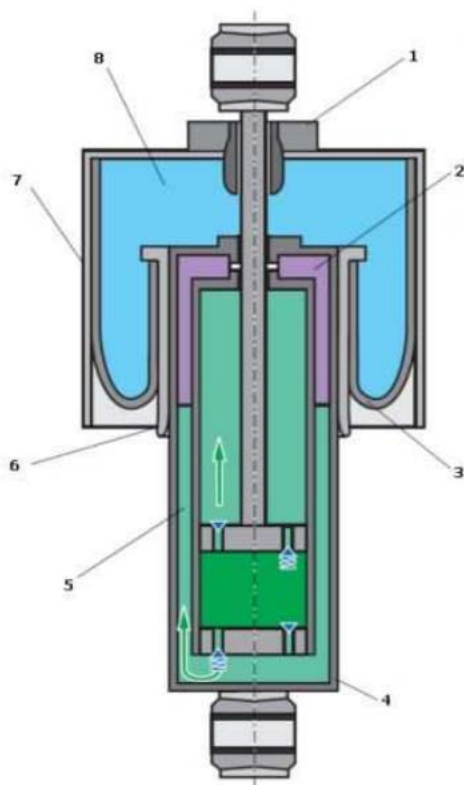


Рис. 1. Конструкция пневматической стойки [1]:

- 1 – направляющая корпуса; 2 – газовая полость амортизатора; 3 – манжета (рукав);
- 4 – двухтрубный газонаполненный амортизатор; 5 – компенсационная полость амортизатора;
- 6 – поршень; 7 – корпус; 8 – воздушная полость

Второе направление представлено механическими системами с переменной жёсткостью. Успенский И.Н. и Мельников А.А. предложили [2] конструкцию подвески с дополнительными упругими элементами, включающимися при больших ходах (Рис. 2). Однако такие системы не обеспечивают плавной регулировки и работают только в дискретных режимах («мягкий»/«жёсткий»), что ограничивает их функциональность.

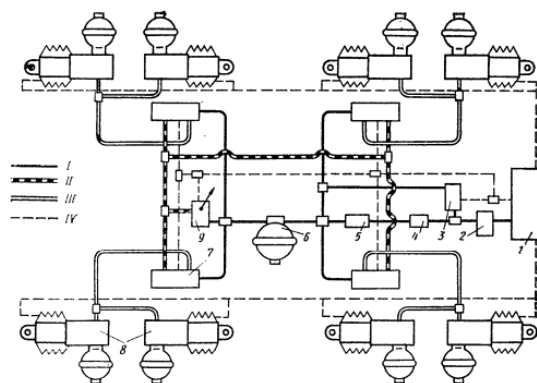


Рис. 2. Схема гидросистемы гидропневматической подвески [2]:

1 – бак для жидкости; 2 – гидронасос; 3 – разгрузочное устройство; 4 – фильтр; 5 – обратный клапан;
6 – гидроаккумулятор; 7 – регулятор положения кузова; 8 – гидропневматическая рессора;
9 – кран управления положением кузова

Третье направление включает энергонезависимые системы, использующие внутренние ресурсы автомобиля. Наиболее близким аналогом является патент [3]. Он описывает подвеску с рекуперацией энергии от колебаний, но использует сложную гидравлическую схему с аккумуляторами давления и электронным управлением (Рис. 3).

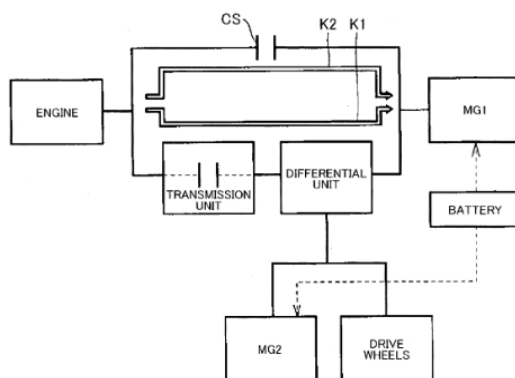


Рис. 3. Схема самозаряжающейся пневмоподвески [3]

Анализ показывает, что отсутствуют исследования, посвящённые полностью пассивным, саморегулируемым пневмоподвескам, использующим энергию хода рычага подвески через простой поршневой насос без электроники и сложных управляющих устройств. Именно этот пробел и восполняет настоящая работа, предлагая конструкцию, сочетающую энергонезависимость, ремонтпригодность и плавную адаптацию к изменяющимся условиям в соответствии с инновационной теорией проектирования [4].

Разработанная система представляет собой гибридную подвеску, в которой металлическая пружина и пневмобаллон работают параллельно. Основные элементы системы следующие:

1. Пружина – стандартная пружина, обеспечивающая базовую упругость подвески.
2. Пневмобаллон – расположен параллельно пружине, один конец закреплён на рычаге, другой – на кузове. Работает как регулируемый упругий элемент.
3. Поршневой воздушный насос – механически связан с рычагом подвески. При его движении шток насоса совершает возвратно-поступательное перемещение.
4. Воздушный фильтр и осушитель – установлены на входе насоса (заборное отверстие). Обеспечивают очистку и осушку атмосферного воздуха.
5. Ресивер (накопительный баллон) – герметичный сосуд, закреплённый на раме. Предназначен для накопления сжатого воздуха под давлением 4–8 бар.
6. Пассивный регулирующий клапан – установлен на магистрали между ресивером и пневмобаллоном. Реагирует на амплитуду и частоту колебаний механически (без электроники).

Система работает следующим образом: при движении по грунтовой дороге рычаг подвески совершает колебания; колебания передаются через механическую связь на шток насоса; насос забирает атмосферный воздух через фильтр и осушитель и нагнетает его в ресивер; из ресивера воздух поступает в пневмобаллоны, увеличивая их жёсткость; пассивный клапан регулирует давление в зависимости от амплитуды и частоты колебаний, обеспечивая автоматическую адаптацию системы.

Была создана математическая модель, отображающая динамику системы, состоящей из следующих элементов конструкции: подрессоренной массы ($m=150$ кг); пружины жёсткостью $k_s=4934,8$ Н/м; пневмобаллона объёмом $V_0=3,0$ л; поршневого насоса с производительностью, зависящей от скорости хода рычага; ресивера объёмом 4 л с пассивным регулирующим клапаном.

Система описывается классическими дифференциальными уравнениями, включающей уравнение движения подрессоренной массы (применен второй закон Ньютона). Термодинамическая модель пневмобаллона отображает изотермический процесс. Ограничением является баланс массы воздуха в ресивере (учитывает подачу насоса и сброс давления через пассивный клапан).

Уравнение движения записывается в виде

$$m \cdot x'' + c \cdot x' + k_s \cdot x + F_{p(x,P)} = -m \cdot z_r''(t), \quad (1)$$

где m – подрессоренная масса, приходящаяся на одно колесо, кг; $x = z - z_r$ – ход подвески, м; k_s – жёсткость пружины, Н/м; c – коэффициент демпфирования, Н·с/м; $F_{p(x,P)}$ – сила, создаваемая пневмобаллоном, Н; $z_r''(t)$ – вторая производная профиля дороги по времени (ускорение неровности).

Сила пневмобаллона при изотермическом процессе рассчитывается по уравнению

$$F_{p(x,P)} = A_b \cdot \left[\frac{(P_{res} \cdot V_0)}{(V_0 - A_b \cdot x)} - P_{atm} \right], \quad (2)$$

где P_{res} – избыточное давление в ресивере, Па; V_0 – начальный объём пневмобаллона, м³; A_b – эффективная площадь пневмобаллона, м²; P_{atm} – атмосферное давление.

Изменение давления в ресивере определяется по уравнению

$$\frac{dP_{res}}{dt} = \left(\frac{P_{atm}}{V_{total}} \right) \cdot (Q_{pump(t)} - Q_{leak(t)}), \quad (3)$$

где $V_{total} = V_{res} + V_0$ – суммарный объём ресивера и пневмобаллона, м³; $Q_{pump} = \eta \cdot V_{stroke} \cdot n(t)$ – объёмный расход от насоса, м³/с; $Q_{leak} = k_l \cdot P_{res}$ при $|x| > x_{thr}$, иначе 0 – расход через клапан сброса, м³/с.

Для решения системы уравнений (1)-(3) использован метод Рунге-Кутты 4-го порядка [5], реализованный в библиотеке `scipy.integrate.solve_ivp` (Python).

Исходные данные: $m = 180$ кг, $k_s = 4934,8 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, $c = 2000 \text{ Н} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}}$; $V_0 = 0,003 \text{ м}^3$, $A_b = 0,01 \text{ м}^2$; $V_{stroke} = 1,96e - 5 \text{ м}^3$, $\eta = 0,7$, $x_{thr} = 0,04 \text{ м}$, $k_l = 1e - 8 \frac{\text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{Па}}$.

Профиль дороги задан как гармоническая неровность

$$z_r(t) = 0,02 \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot 8,3 \cdot t}{2,0}\right), \quad (4)$$

что соответствует движению со скоростью 30 км/ч по грунтовой дороге с длиной волны неровностей 2 м.

Результаты моделирования (один из вариантов исходных данных) представлены на рис. 4-6. На рис. 4 показан ход подвески $x(t)$, который колеблется вокруг статического прогиба – 0,248 м с амплитудой $\pm 0,02$ м. На рис. 5 представлено изменение давления в пневмобаллоне, достигающего целевого значения 0,5 бар за 50,4 с. На рис. 6 показан профиль дороги $z_r(t)$ с амплитудой 20 мм и частотой 0,42 Гц.

Пройденная дистанция S при скорости $v = 30$ км/ч (8,3 м/с) определена из уравнения:

$$S = v \cdot t = 8,3 \cdot 50,4 \approx 418 \text{ м}.$$

Анализ показывает, что при давлении 0,5 бар: собственная частота колебаний возрастает с 1,00 до 1,06 Гц (+6 %), угол крена при боковом ускорении 4 м/с^2 снижается с $4,64^\circ$ до $3,48^\circ$ (–25 %).

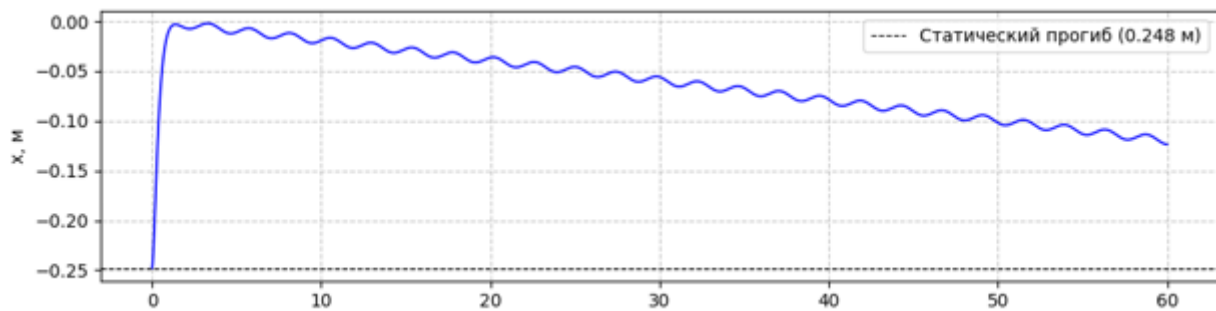


Рис. 4. Ход подвески в зависимости от времени движения

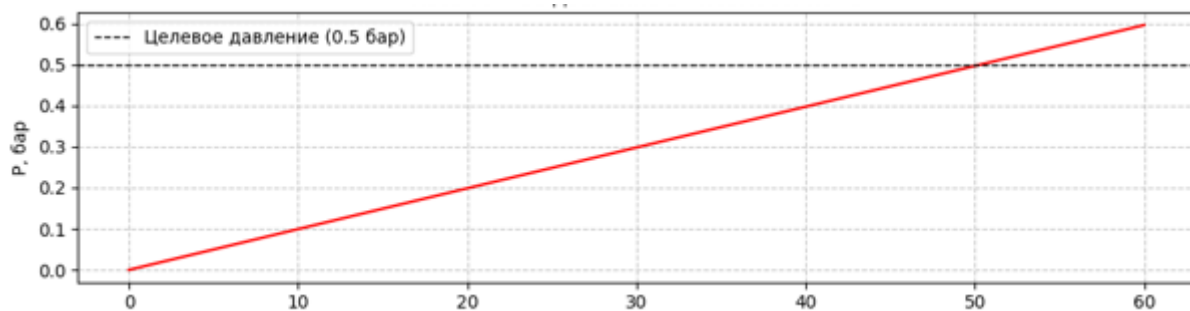


Рис. 5. Избыточное давление в пневмобаллоне в зависимости от времени движения

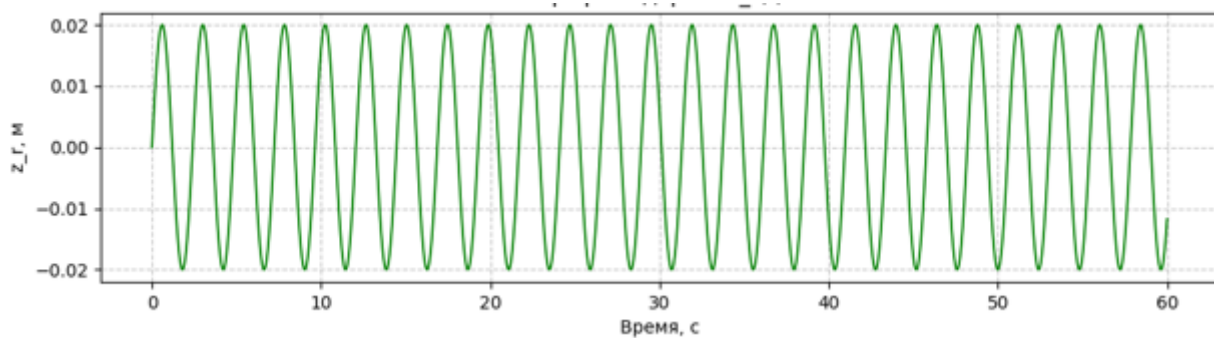


Рис. 6. Расчетный профиль дороги

В исследовании применены результаты научных трудов профессора Кудрявцева Е.М.[6] и программные комплексы авторов [7, 8].

Разработанная математическая модель подтверждает работоспособность предложенной конструкции адаптивной подвески с энергонезависимым пневмоприводом. Система автоматически переходит в «спортивный» режим при интенсивных колебаниях, повышая устойчивость без участия водителя и без подключения к бортовой сети. Время адаптации (418 м) является приемлемым для реальных условий эксплуатации малогабаритной машины на бездорожье.

Предложенное решение обладает высокой ремонтопригодностью и низкой себестоимостью, что делает его перспективным для внедрения в производство малогабаритной внедорожной техники.

Библиографический список

1. А.В. Острецов, П.А. Красавин, В.В. Воронин, Л.А. Павлова АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПОДВЕСКИ [Текст] / А.В. Острецов, П.А. Красавин, В.В. Воронин, Л.А. Павлова — 1-е изд. — Москва: МГТУ «МАМИ», 2011 — 162 с.
2. И.Н. Успенский, А.А. Мельников Проектирование подвески автомобиля [Текст] / И.Н. Успенский, А.А. Мельников — 1-е изд.. — Москва: Машиностроение, 1976 — 168 с.
3. Гибридное транспортное средство / [Электронный ресурс] // Google патенты : [сайт]. — URL: <https://patents.google.com/patent/US20180022203A1>.
4. Минин, В.В. Методология инновационного проектирования наземных транспортно-технологических комплексов / В.В. Минин, Г.С. Гришко, В.Ю. Кleshнин // учеб. по-сobie. Красноярск : Сиб. фед. ун-т, 2021. — 108 с.
5. Павлов, В.П. Машины для строительства и содержания дорог и аэродромов : Исследование, расчёт, конструирование / В.П. Павлов, В.В. Минин, В.А. Байкалов, М.И. Артемьев // учебное пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2011. — 196 с.
6. Кудрявцев, Е.М. Компас 3D. Проектирование в машиностроении / Е.М. Кудрявцев - М: ДМК Пресс, 2009. -440 с.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025661750 Российская Федерация. Программа расчёта положения центра масс наземных транспортно-технологических машин : №2025619911 : 24.04.2025 : опубли. 13.05.2025 / В.В. Минин, А.Д. Мальков ; ФГАОУ ВО «СФУ».
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025663287 Российская Федерация. Программа для исследования показателей устойчивости шарнирно-сочленённой наземной транспортно-технологической машины при вариации конструкций рам и подвесок колёс : №2025661393 : 12.05.2025 : опубли. 27.05.2025 / В.В. Минин, А.Д. Мальков ; ФГАОУ ВО «СФУ».

References

1. A.V. Ostretsov, P.A. Krasavin, V.V. Voronin, L.A. Pavlova AUTOMOBILE SUSPENSIONS [Text] / A.V. Ostretsov, P.A. Krasavin, V.V. Voronin, L.A. Pavlova — 1st ed. — Moscow: MSTU "MAMI", 2011 — 162 p.
2. I.N. Uspensky, A.A. Melnikov Car suspension design [Text] / I.N. Uspensky, A.A. Melnikov — 1st ed.. — Moscow: Mashinostroenie, 1976 — 168 p.
3. Hybrid vehicle / [Electronic resource] // Google patents : [website]. — URL: <https://patents.google.com/patent/US20180022203A1>.
4. Minin, V.V. Methodology of innovative design of ground-based transport and technological complexes / V.V. Minin, G.S. Grishko, V.Yu. Kleshnin // textbook. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2021. — 108 p.
5. Pavlov, V.P. Machines for the construction and maintenance of roads and airfields: Research, calculation, design / V.P. Pavlov, V.V. Minin, V.A. Baikalov, M.I. Artemyev // textbook. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2011. - 196 p.
6. Kudryavtsev, E.M. Compass 3D. Design in mechanical engineering / E.M. Kudryavtsev - M: DMK Press, 2009. -440 p.
7. Certificate of state registration of computer program No. 2025661750 Russian Federation. Program for calculating the position of the center of mass of ground transport and technological machines: No. 2025619911: 24.04.2025: published 13.05.2025 / V.V. Minin, A.D. Malkov; FGAOU VO "SibFU".
8. Certificate of state registration of computer program No. 2025663287 Russian Federation. Program for studying the stability indicators of an articulated ground transport and technological machine with variations in frame and wheel suspension designs: No. 2025661393: 12.05.2025: published 27.05.2025 / V.V. Minin, A.D. Malkov; FGAOU VO "SibFU".

*Сибирский государственный
автомобильно-дорожный университет
Д-р. техн. наук, профессор С.В. Савельев
Россия, г. Омск, тел. +7 (3812) 65-02-22,
e-mail: info@sibadi.org
Белорусско-Российский университет
Канд. техн. наук, доцент,
И.В. Лесковец
Республика Беларусь, г. Могилев, пр. Мира, д.43,
тел.: (+375 222) 26-61-00,
e-mail: leskovets1966@mail.ru
Сибирский государственный
автомобильно-дорожный университет
Аспирант А.А. Чугунов
Россия, г. Омск, тел. +7 (3812) 65-20-41,
e-mail: tomrein12345@gmail.com*

*Siberian State Automobile
and Highway University
Dr. Sci. Tech., Professor. S.V. Savelyev
Russia, Omsk, tel. +7 (3812) 65-02-22,
e-mail: info@sibadi.org
Belarusian-Russian University
Cand. tech. Sciences, Associate Professor
I.V. Leskovets
Republic of Belarus, Mogilev, Mira Ave., 43,
tel.: (+375 222) 26-61-00,
e-mail: leskovets1966@mail.ru
Сибирский государственный
автомобильно-дорожный университет
Postgraduate student A.A. Chugunov
Russia, Omsk, tel. +7 (3812) 65-20-41,
e-mail: tomrein12345@gmail.com*

С.В. Савельев, И.В. Лесковец, А.А. Чугунов

ПЕРСПЕКТИВНАЯ КОНСТРУКЦИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДОРОЖНОГО КАТКА ДЛЯ УСТРОЙСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В статье представлена перспективная конструкция рабочего органа дорожного катка для уплотнения дорожно-строительных материалов при строительстве автомобильных дорог. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности уплотнения за счёт регулирования контактных давлений в широком диапазоне одной машиной. Предложена оригинальная конструкция вальца, включающая основной барабан и дополнительные вальцы малого диаметра, способные перемещаться по поверхности основного вальца и фиксироваться в различных положениях.

Ключевые слова: дорожный каток, уплотнение, рабочий орган, валец, контактные давления, дорожно-строительные материалы, автомобильные дороги, эффективность строительства.

S.V. Savelyev, I.V. Leskovets, A.A. Chugunov

PROMISING DESIGN OF THE WORKING BODY OF A ROAD ROLLER FOR THE CONSTRUCTION OF HIGHWAYS

The article presents a prospective design of a road roller working body intended for compaction of road construction materials during highway construction. The relevance of the study is determined by the need to improve compaction efficiency through the ability to regulate contact pressures over a wide range using a single machine. An original drum design is proposed, comprising a main cylinder and additional small-diameter rollers capable of moving along the main drum surface and being fixed in various positions.

Keywords: road roller, compaction, working body, drum, contact pressure, road construction materials, highways, construction efficiency.

Наиболее распространенный способ придания требуемой прочности технологическим слоям автомобильной дороге при её строительстве является уплотнение дорожных материалов [1, 2]. Многообразие материалов и их свойств обуславливает широкую номенклатуру различной уплотняющей техники, реализующей различные виды нагружения обрабатываемой среды [1, 3, 4]. Применение вибрации позволяет значительно ускорить процесс деформирования среды по сравнению со статическими методами. Тем не менее, проблема осуществления эффективного уплотнения различных сред не ограничивается только правильным выбором средства уплотнения. Дополнительная сложность возникает в том, что в течение всего процесса приложения внешней нагрузки среда деформируется и при каждом циклическом приложении нагрузки «набирает» прочность, как следствие постоянно изменяет свои свойства. Это приводит к тому, что возникает необходимость использовать различные по массе типоразмеры катков [2, 5, 6]. Например: при уплотнении грунтов земляного полотна автодороги используют катки среднего и тяжёлого типа. Таким образом, снижается производительность работ, увеличиваются энергоёмкость и трудозатраты на строительство.

В России, Беларуси и др. странах ведутся исследования по созданию дорожных катков, которые обеспечат процесс уплотнения дорожных материалов от начальной до требуемой плотности одной машиной [7-9]. Для этого необходимо, чтобы дорожный каток мог изменять свои контактные давления в широком диапазоне, в соответствии с неравенством [2, 10].

$$\sigma_t(t) / \sigma_k(t) \leq \sigma_{pr}(t)$$

где σ_t – предел текучести материала;
 σ_k – контактные давления;
 σ_{pr} – предел прочности материала.

При статическом уплотнении соблюдение этого условия возможно регулированием всего двух параметров: массы уплотнителя и контактной площади.

Задачей предложенной конструкции (рисунок 1) является повышения эффективности уплотнения дорожно-строительных материалов. Предполагаемый результат достигается тем, что рабочий орган катка представлен в виде вальца, на оси которого расположено несколько дополнительных рам, на которых установлено несколько дополнительных вальцов малого диаметра (минимум два).

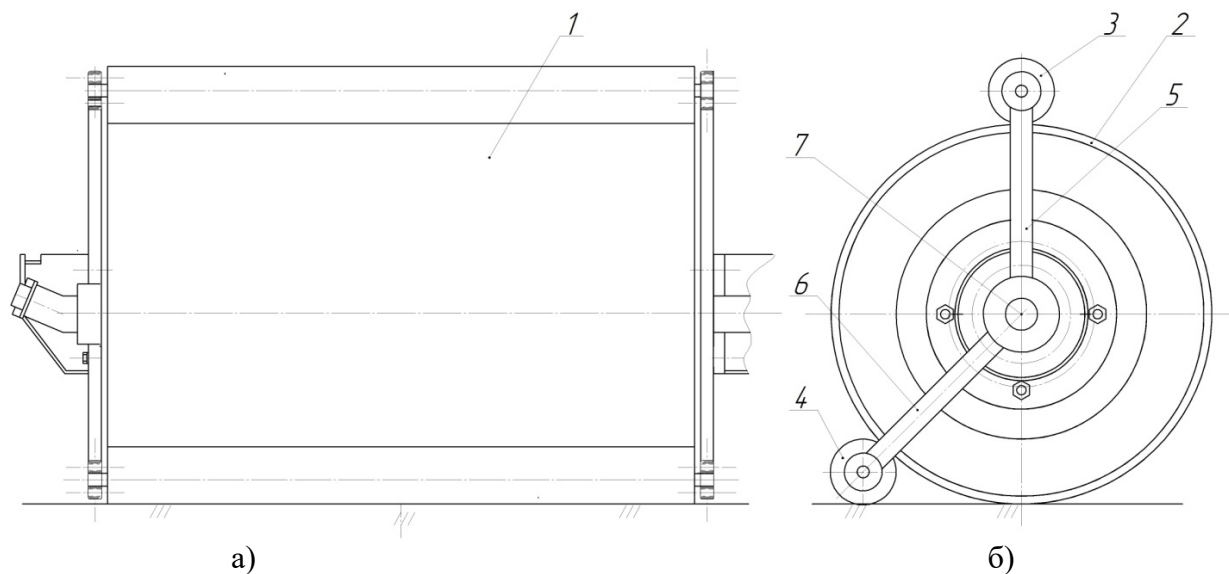


Рис. 1. Конструкция рабочего органа дорожного катка

Дополнительные вальцы могут перемещаться (обкатываться) по поверхности основного вальца и фиксироваться в любом положении. Основной валец дорожного катка 1 (рисунок 1) состоит из металлической обечайки 2, дополнительных вальцов 3 и 4, закреплённых на дополнительных рамах 5 и 6, которые позволяют дополнительным вальцам 3, 4 перекачиваться по поверхности основной обечайки 2, относительно оси 7 основного вальца с металлической обечайкой 1.

Можно рассмотреть несколько режимов работы данной конструкции (рисунок 2).

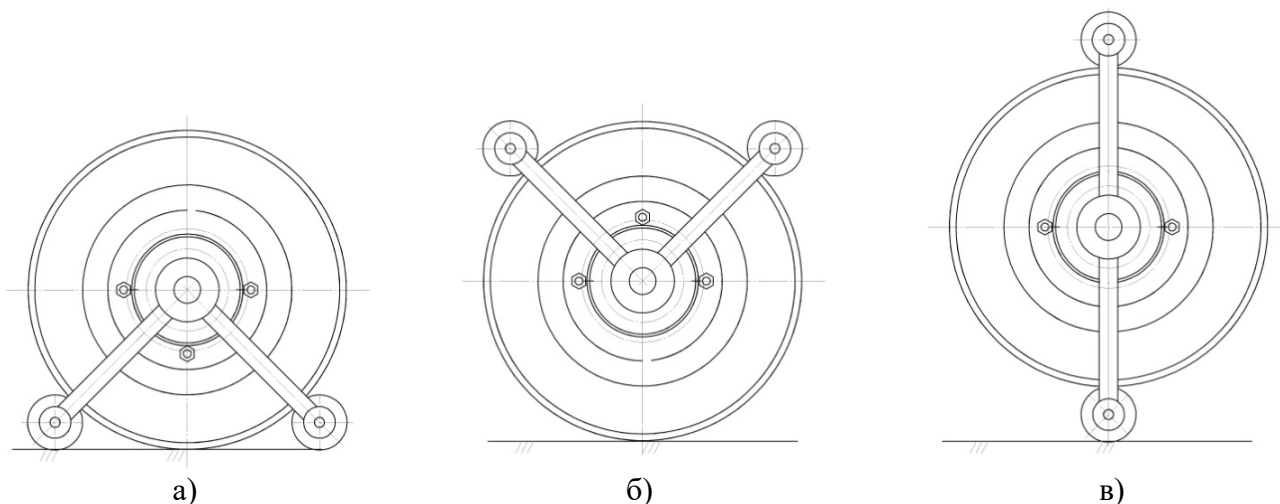


Рис. 2. Рабочие положения дополнительных вальцов на основном вальце

Первый режим работы (рисунок 2 «а»), при котором дополнительные вальцы на дополнительной раме зафиксированы в положении касаясь поверхности уплотняемого материала вместе с основным вальцом (три точки контакта с поверхностью). Пятно контакта максимальное, а контактные давления минимальны. Каток уплотняет слой на начальном этапе процесса уплотнения.

Второй режим работы (рисунок 2 «б»), при котором дополнительные вальцы на дополнительной раме зафиксированы в положении, не касаясь поверхности уплотняемого материала. С материалом контактирует только основной валец, имеющий большой диаметр, пятно контакта несколько меньше, по сравнению с режимом – «а», контактные давления увеличиваются. Каток увеличивает деформационное воздействие на уплотняемый материал.

Третий режим работы (рисунок 2 «в»), при котором дополнительный валец опускается под основной валец, и с уплотняемым материалом контактирует только дополнительный валец малого диаметра, площадь контакта минимальна, а контактные давления, соответственно, становятся максимальными. В этом режиме материал может уплотняться на заключительных этапах.

Используя новые элементы, в частности несколько дополнительных вальцов, «перекачивающихся» по поверхности основного вальца появляется возможность дополнительной регулировки величины контактных давлений.

Представленная конструкция рабочего органа катка, является лишь одной из линейки разработанных перспективных рабочих органов дорожных катков, разработанных коллективом авторов

В заключение хотелось бы отметить, что правильный выбор конструктивных и режимных параметров для перспективных дорожных катков позволит эффективно уплотнять различные типы дорожно-строительных материалов, осуществляя операцию уплотнения мате-

риалов от начальной до требуемой плотности одной машиной. Что позволит улучшить технологию строительства, повысить производительность работ по ремонту и строительству автодорог, снизить их себестоимость.

Работа проводилась при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) и Правительства Омской области № 23–29–10010 на тему «Разработка дорожных катков для повышения эффективности транспортного строительства с учетом региональных условий Омской области».

Библиографический список

1. С. В. Савельев Анализ эффективности применения адаптивных катков при уплотнении грунта. Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – Омск: СибАДИ. - № 2 (30). – 2013 г. С. 47-51.
2. СП 34.13330.2021 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85 – [Электронный ресурс]. URL: <http://rosdornii.novateh.ru/docs/> (дата обращения: 03.10.2025).
3. Определение параметров и режимов уплотнения дорожных катков : Учебное пособие / Г. В. Кустарев, В. И. Баловнев, Р. Г. Данилов, С. А. Павлов. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. – 142 с.
4. Савельев С.В., Михеев В.В. Механизация уплотнения грунтовых насыпей вибрационными катками с пневмошинными рабочими органами // Механизация строительства. — 2015. — № 3. — с. 4-7. — <http://ms.enjournal.net/article/11628/>.
5. Using the Deformational Properties of Tires in Vibrational Systems V. B. Permyakov, S. V. Savel'ev, V. V. Mikheev, Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35. , No. 2, pp. 102–104. ISSN 1068798X. Allerton Press, Inc., 2015. <http://link.springer.com/article/10.3103/S1068798X15020203>.
6. Yuan Ma, Wei Lu, Ying-cheng Luan, Tao Ma, Chuan-le Wang. Research on global optimization mechanism of intelligent compaction parameters of soil subgrade based on difference method // Journal of Building Engineering. – 2024. – doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108381.
7. Saveliev S. V.; Lashko A.G. (2010). Roll of road roller. Patent. No. 93090 the Russian Federation.
8. Saveliev S. V., Zakharenko A.V., Permyakov V. B. (2002). Roll of road roller. Patent. No. 21401 the Russian Federation.
9. Saveliev S. V. (2008). Roll of road roller Patent. No. 2341609 the Russian Federation.
10. Хархута Н. Я. Влияние физико–механических свойств грунтов естественных оснований на их устойчивость и уплотнение/ Н. Я. Хархута, Ю. М. Васильев, В. М. Иевлев// Материалы Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению грунтов: Научно–исследовательская лаборатория гидрогеологич. и инженерно–геологич. проблем Грузинск. политехнич. ин–та им. В. И. Ленина. – Тбилиси, 1964. – С. 67-69.

References

1. S. V. Saveliev. Analysis of the efficiency of using adaptive rollers for soil compaction. SibADI Bulletin: Scientific peer-reviewed journal. – Omsk: SibADI. - No. 2 (30). – 2013. P. 47-51.
2. SP 34.13330.2021 Highways. Updated version of SNiP 2.05.02-85 – [Electronic resource]. URL: <http://rosdornii.novateh.ru/docs/> (date accessed: 03.10.2025).
3. Determination of parameters and compaction modes of road rollers: Tutorial / G. V. Kustarev, V. I. Balovnev, R. G. Danilov, S. A. Pavlov. - Moscow: Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 2022. - 142 p.

4. Saveliev S.V., Mikheev V.V. Mechanization of compaction of soil embankments by vibratory rollers with pneumatic-tired working bodies // Mechanization of construction. - 2015. - No. 3. - p. 4-7. — <http://ms.enjournal.net/article/11628/>.
5. Using the Deformational Properties of Tires in Vibrational Systems V. B. Permyakov, S. V. Savel'ev, V. V. Mikheev, Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35. , No. 2, pp. 102–104. ISSN 1068798X. Allerton Press, Inc., 2015. <http://link.springer.com/article/10.3103/S1068798X15020203>.
6. Yuan Ma, Wei Lu, Ying-cheng Luan, Tao Ma, Chuan-le Wang. Research on global optimization mechanism of intelligent compaction parameters of soil subgrade based on difference method // Journal of Building Engineering. – 2024. – doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108381.
7. Saveliev S. V.; Lashko A.G. (2010). Roll of road roller. Patent. No. 93090 the Russian Federation.
8. Saveliev S. V., Zakharenko A.V., Permyakov V. B. (2002). Roll of road roller. Patent. No. 21401 the Russian Federation.
9. Saveliev S. V. (2008). Roll of road roller Patent. No. 2341609 the Russian Federation.
10. Kharkhuta N. Ya. Influence of physical and mechanical properties of natural foundation soils on their stability and compaction / N. Ya. Kharkhuta, Yu. M. Vasiliev, V. M. Ievlev // Proceedings of the All-Union Conference on Soil Stabilization and Compaction: Research Laboratory of Hydrogeological and Engineering-Geological Problems of the Georgian Polytechnic Institute named after V. I. Lenin. - Tbilisi, 1964. - P. 67-69.

*Воронежский государственный
технический университет
Студент гр. НТС-231 К.А. Токарев
Россия, г. Воронеж, тел. +7(939) 771-10-61
e-mail: tka053612@gmail.com
Студент гр. НТС-231 К.В. Кильтау
Россия, г. Воронеж, тел. +7(920) 502-64-33
e-mail: kiltau98@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University
A student gr. NTS-231, K.A. Tokarev
Russia, Voronezh, tel., +7(939) 771-10-61
e-mail: tka053612@gmail.com
A student gr. NTS-231, K.V. Kiltau
Russia, Voronezh, tel., +7(920) 502-64-33
e-mail: kiltau98@mail.ru*

К.А. Токарев, К.В. Кильтау

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОГРЕЙДЕРА

В статье рассмотрены современные конструкции механизмов, повышающие устойчивость автогрейдеров, дан анализ преимуществ и недостатков этих механизмов. Сделан вывод, что данные конструкции повышают устойчивость автогрейдера при выполнении технологических работ с выносом отвала за пределы опорного периметра, это является важным свойством при работе грейдера.

Ключевые слова: автогрейдер, рабочий орган.

К.А. Tokarev, K.V. Kiltau

DEVICES FOR INCREASING STABILITY OF MOTOR GRADER MOVEMENT

This article examines modern designs of mechanisms that improve motor grader stability and analyzes the advantages and disadvantages of these mechanisms. It is concluded that these designs improve motor grader stability when performing operations involving blade extensions beyond the support perimeter, an important feature for grader operation.

Keywords: grader, working body.

Одним из существенных недостатков автогрейдеров любых конструкций и фирм является проблема устойчивости хода при выполнении технологических работ с выносом отвала за пределы опорного периметра. Недостаточный вес переднего моста является причиной, ограничивающей производительность, даже для тяжелых автогрейдеров, оснащенных передним ведущим мостом.

На кафедре Строительной техники и инженерной механики имени профессора Н.А. Ульянова Воронежского государственного технического университета проводится результативная работа по улучшению конструкций землеройно-транспортных машин. В частности, разработаны и запатентованы современные системы, обеспечивающие улучшенную устойчивость автогрейдера к поперечным нагрузкам во время работы. Основой этих конструкций является установка диска 2 с зубьями 3, которые обеспечивают боковое сцепление с рабочей поверхностью при движении автогрейдера и стабилизирующие его положение относительно продольной оси (рис. 1).

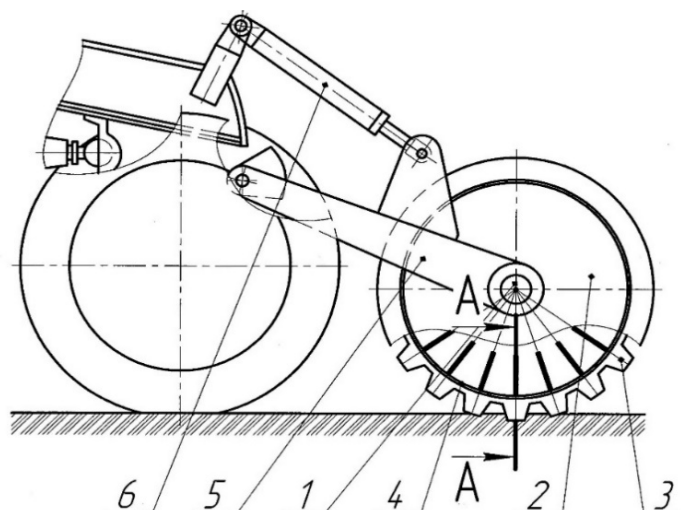


Рис. 1. Работа устройства для стабилизации движения автогрейдера

Такие устройства могут устанавливаться, как в передней части автогрейдера (вместо прямого отвала), (рис. 2), так и на тыльной стороне самого отвала, (рис. 3).

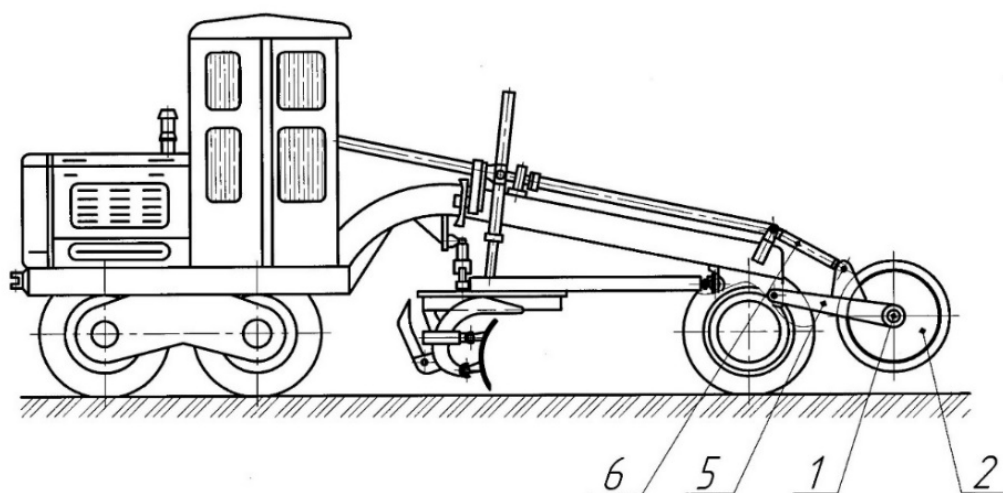


Рис. 2. Автогрейдер с устройством для стабилизации хода

При установке устройства для увеличения устойчивости хода в передней части автогрейдера (рис. 2) его монтируют на главную раму вместо дополнительного сменного оборудования – прямого отвала.

Возникающие при этом боковые нагрузки воспринимаются не только опорными поверхностями шин колес автогрейдера, но и зубьями 3 диска 2, взаимодействующих с грунтом (рис. 1.)

Основной недостаток предложенной конструкции заключается в том, что она создает боковые нагрузки на металлоконструкции автогрейдера (отвал, рамы) и не позволяет использовать дополнительное оборудование, например, прямой отвал, для вспомогательных работ.

Для устранения этих недостатков устройство с диском (рис. 1.) необходимо устанавливать непосредственно на тыльной стороне отвала (рис. 3).

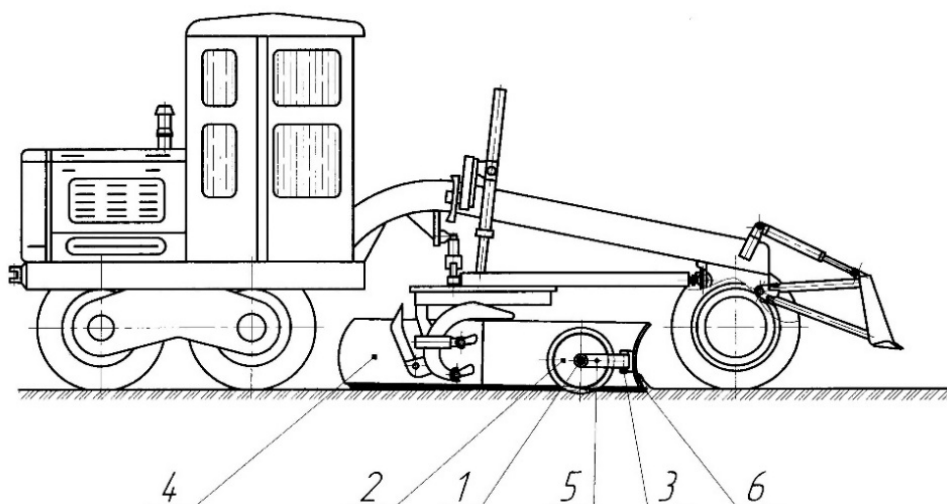


Рис. 3. Установка устройства на отвале

Для этого вертикальный шарнир 3 отвала 4 соединения рамы 5 с отвалом 4 (рис. 3) устанавливают вертикально к плоскости, проходящей через ножи 6 отвала 4 и направление движения автогрейдера, а заостренные зубья 3 с двусторонней заточкой (рис. 1) располагают ниже этой плоскости.

При выполнении технологических операций с выносом кромки отвала за пределы опорного периметра автогрейдера оператор опускает отвал 4 в рабочее положение (рис. 1, 3). В этот момент заостренные зубья диска 2 врезаются в грунт, опережая ножи 6 отвала, что создает надежное зацепление отвала с обрабатываемой поверхностью. Затем оператор начинает разработку грунта. Возникающие при этом боковые нагрузки (рис. 3, 4) воспринимаются не только опорными поверхностями шин колес автогрейдера, но и соприкосновением заостренных зубьев 3 диска с грунтом. В результате значительно увеличивается поперечная устойчивость автогрейдера, а также в разы снижается действие боковой силы с металлоконструкциями автогрейдера.

Конструкция предлагаемого отвала автогрейдера направлена на снижение воздействия боковых нагрузок на металлоконструкции, создавая при этом повышенную продольную устойчивость. Кроме того, предусмотрена возможность монтажа дополнительного прямого отвала, что существенно расширяет возможности выполняемых работ.

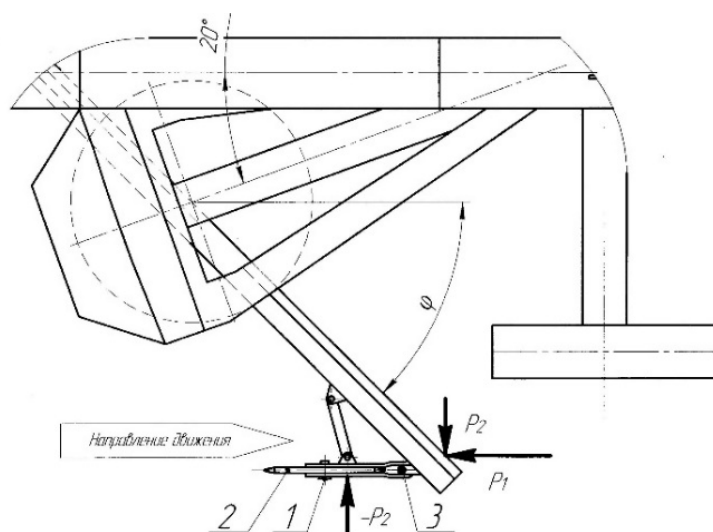


Рис. 4. Работа устройства на отвале автогрейдера

Таким образом, разработаны устройства, повышающие стабильность движения автогрейдера. Их применение значительно упрощает выполнение оператором задач по разработке кюветов и работе автогрейдера с выносом отвала в сторону. А также данные конструкции позволяют уменьшить нагрузки на металлоконструкции автогрейдера, а их установка возможна, как на новую технику, так и на автогрейдеры, которые уже введены в эксплуатацию.

Библиографический список

1. Сливинский Е.В. К вопросу повышения устойчивости движения автотракторных прицепов // Строительные и дорожные машины. – 2021. – № 1. – С. 21-23.
2. Технологические машины и комплексы в дорожном строительстве (производственная и техническая эксплуатация): учеб. пособие / под ред. В.Б. Пермякова. – М.: БАСТЕТ, 2014. – 752 с.
3. Жулай В.А., Нилов В.А., Тюнин В.Л., Щиенко А.Н. Путевая устойчивость двухосной колесной землеройно-транспортной машины при внецентренном нагружении // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – Вып. 1. – С. 521-527.
4. Севров К.П., Горячко Б.В., Покровский А.А. Автогрейдеры. Конструкция, теория, расчет. – М.: Машиностроение, 1970. – 192 с.
5. Жулай В.А., Тюнин В.Л. Определение параметров области контакта пневмошины землеройно-транспортной техники с деформируемой опорной поверхностью // Строительные и дорожные машины. – 2015. – № 8. – С. 51-54.
6. Патент № 2831719 Российская Федерация, МПК В62D 63/02. Устройство для увеличения устойчивости хода автогрейдера / В.А. Нилов, В.А. Жулай, В.Л. Тюнин, В.А. Ныркков; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. – № 2023135776; заявл. 27.12.2023; опубл. 12.12.2024, Бюл. № 35. – 6 с.
7. Положительное решение от 26.01.2026 по заявке № 2025101612 от 27.01.2025. Отвал автогрейдера / В.А. Нилов, В.А. Жулай, В.Л. Тюнин.

References

1. Slivinsky E.V. On the Issue of Improving the Stability of Motor-Tractor Trailers // Construction and Road Machines. - 2021. - No. 1. - Pp. 21-23.
2. Technological Machines and Complexes in Road Construction (Industrial and Technical Operation): Textbook / edited by V.B. Permyakov. - Moscow: BASTET, 2014. - 752 p.
3. Zhulai V.A., Nilov V.A., Tyunin V.L., Shchienko A.N. Directional Stability of a Two-Axle Wheeled Earth-Moving Machine under Eccentric Loading // Bulletin of Tula State University. Technical Sciences. - 2024. - Issue 1. - Pp. 521-527.
4. Sevrov K.P., Goryachko B.V., Pokrovsky A.A. Motor graders. Design, theory, calculation. – Moscow: Mashinostroenie, 1970. – 192 p.
5. Zhulai V.A., Tyunin V.L. Determination of parameters of the contact area of a pneumatic tire of earthmoving equipment with a deformable supporting surface // Construction and road machines. – 2015. – No. 8. –P. 51-54.
6. Patent No. 2831719 Russian Federation, IPC B62D 63/02. Device for increasing the stability of a motor grader / V.A. Nilov, V.A. Zhulai, V.L. Tyunin, V.A. Nyrkov; applicant and patent holder Voronezh State Technical University. – No. 2023135776; filed 27.12.2023; published 12.12.2024, Bulletin No. 35. – 6 p.
7. Positive decision dated 26.01.2026 for application No. 2025101612 dated 27.01.2025. Motor grader blade / V.A. Nilov, V.A. Zhulai, V.L. Tyunin.

*Тульский государственный университет
Профессор кафедры Транспортно-
технологические машины и процессы
Р.Н. Хмелев,
Студенты кафедры Транспортно-
технологические машины и процессы
Д.А. Архипов, А.Е. Андронов, П.П. Борисов,
И.Д. Некрасов
Россия, г. Тула, тел. +7(953) 433-63-56
e-mail: aiah@yandex.ru*

*Tula State University
Professor of the Transport and Technological
Machines and Processes Dept
R.N. Khmelev,
Students of the Transport and Technological
Machines and Processes Dept
D.A. Arkhipov, A.E. Andronov, P.P. Borisov,
I.D. Nekrasov,
Russia, Tula, tel. +7(953) 433-63-56
e-mail: aiah@yandex.ru*

Р.Н. Хмелев, Д.А. Архипов, А.Е. Андронов, П.П. Борисов, И.Д. Некрасов

РЕЗУЛЬТАТЫ ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ АВТОМОБИЛЯ УАЗ «ХАНТЕР» С ТЮНИНГОМ ЭЛЕМЕНТОВ ХОДОВОЙ ЧАСТИ

В публикации приведены результаты виртуальных испытаний в программе «Универсальный механизм» усовершенствованной конструкции элементов ходовой части УАЗ «Хантер» для повышения проходимости при сохранении приемлемого уровня управляемости и комфорта на дорогах общего пользования. Испытания проводились на соответствие модернизированной конструкции требованиям ГОСТ 31507-2012 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний».

Ключевые слова: тюнинг, ходовая часть, автомобиль УАЗ «Хантер», программа «Универсальный механизм», виртуальные испытания.

R.N. Khmelev, D.A. Arkhipov, A.E. Andronov, P.P. Borisov, I.D. Nekrasov

RESULTS OF VIRTUAL TESTS OF THE UAZ «HUNTER» CAR WITH TUNING OF THE UNDERCARRIAGE ELEMENTS

The publication presents the results of virtual tests in the Universal Mechanism program of the improved design of the «UAZ Hunter» chassis elements to increase cross-country ability while maintaining an acceptable level of controllability and comfort on public roads. The tests were conducted to ensure compliance of the upgraded design with the requirements of GOST 31507-2012 «Motor vehicles. Controllability and stability. Technical requirements. Test methods».

Keywords: tuning, chassis, UAZ Hunter car, Universal Mechanism program, virtual tests.

Современный этап развития автомобильной техники характеризуется возрастающими требованиями к многофункциональности и универсальности транспортных средств, особенно в сегменте внедорожников. В этом контексте отечественный автомобиль УАЗ «Хантер» представляет собой достаточно распространенный объект для модернизации (тюнинга): это классический рамный внедорожник с зависимой подвеской на пружинах и рессорах, изначально спроектированный для эксплуатации в сложных дорожных условиях и зарекомендовавший себя как надёжное транспортное средство для бездорожья [1].

Актуальность данных работ обусловлена потребностью в повышении проходимости УАЗ «Хантер» в условиях бездорожья за счет тюнинга элементов ходовой части.

Исследование и оптимизация элементов конструкции ходовой части автотранспортных средств (АТС) методом вычислительного эксперимента позволяет эффективно решить эту задачу с минимальными затратами на предварительную отработку решений.

В настоящее время наиболее эффективным методом решения рассматриваемой задачи является метод вычислительного эксперимента, базирующийся на современных программных комплексах. Одной из таких программ является программа универсальный механизм (УМ) – это программный комплекс для моделирования динамики и кинематики плоских и пространственных механических систем [2]. УМ предоставляет возможность проведения испытаний связанных с движением самих тел в пространстве и относительно других тел и, в частности, виртуальных испытаний АТС согласно ГОСТ 31507-2012 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость».

Применение метода вычислительного эксперимента позволяет [3]:

- оценить влияние изменений на проходимость и управляемость до изготовления опытных образцов;
- сократить затраты на натурные испытания;
- подобрать оптимальные параметры элементов ходовой части для различных условий эксплуатации;
- проверить соответствие модернизированной конструкции требованиям ГОСТ 31507-2012 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний» [4].

Цель данной работы – проведение виртуальных испытаний усовершенствованной конструкции элементов ходовой части УАЗ «Хантер» для повышения проходимости при сохранении приемлемого уровня управляемости и комфорта на дорогах общего пользования.

На основе чертежей и технических данных УАЗ «Хантер» была построена виртуальная модель автомобиля с исходной конструкцией ходовой части в программе УМ. Стандартный автомобиль имеет: шины размерностью 225/75 R16; колесные диски 7J×16, ET +35. Для повышения внедорожных качеств были предложены следующие усовершенствования: бодилифт кузова автомобиля (установлена проставка между рамой и кузовом высотой 50 мм), шины размерностью 235/85 R16, диски 8J×16, ET 0, а также силовые бампера для защиты кузова и экспедиционный багажник.

Для оценки эффективности тюнинга и расчёта на предмет соответствия ГОСТ 31507-2012 в программе УМ были заданы тестовые условия, такие как упражнения «Поворот» и «Переставка» [4].

Согласно ГОСТ 31507-2012, автомобиль категории M1** должен проходить следующие виды испытаний:

- «поворот» на скорости 67 км/ч;
- «переставка» на скорости 74 км/ч.

Автомобиль считается прошедшим испытания, если не было выхода за пределы разметки или отрыва одного из колёс АТС от поверхности дороги [4].

Результаты виртуальных испытаний в программе УМ позволяют сделать следующие выводы:

1. Стандартный автомобиль успешно проходит испытание «поворот» на скорости до 75 км/ч включительно, без отрыва колёс.
2. Модернизированный автомобиль успешно проходит это же испытание на скорости до 68 км/ч включительно.
3. Стандартный автомобиль проходит испытание «переставка» на скорости до 75 км/ч включительно.
4. Модернизированный автомобиль выполняет условия упражнения «переставка» на скорости до 75 км/ч включительно; на более высоких скоростях происходит выход за границу дорожного полотна.

Примеры результатов вычислительных экспериментов (виртуальных испытаний), выполненных в программе УМ, показаны на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Прохождение испытания «поворот» стандартного автомобиля на скорости 75 км/ч

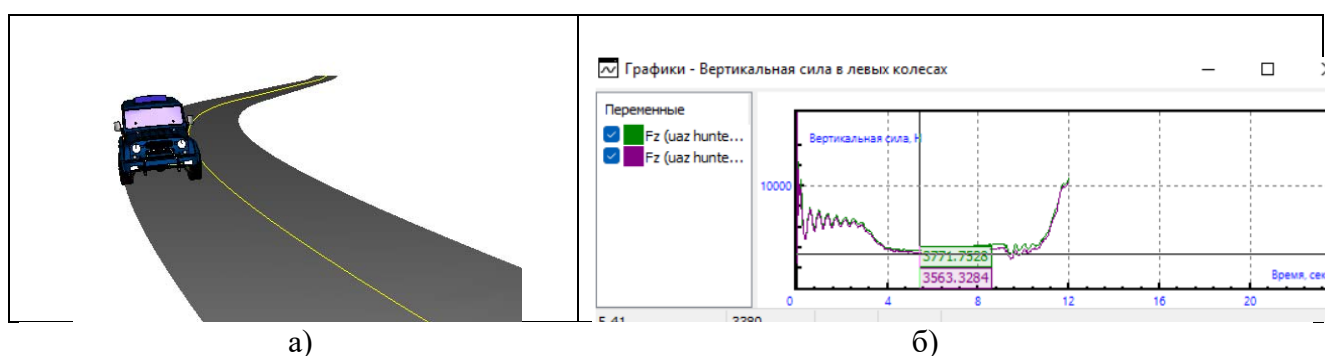


Рис. 2. Прохождение испытания «поворот» модернизированного автомобиля на скорости 75 км/ч

На рис. 1 и 2 наглядно видно, возросшая масса модернизированного автомобиля, а также увеличенные колеса и возросшая высота кузова приводят к росту вертикальной силы на 9 % (при скорости 75 км/ч). При этом у модернизированного автомобиля на таких скоростях наблюдаются возросшие нагрузки, приводящие к выходу переднего правого колеса автомобиля за границу испытания. Рассмотренный предельный случай иллюстрирует возможности вычислительного эксперимента при комплексной оценке результатов тюнинга ходовой части.

Подобные программы могут существенно снизить стоимость разработки и модернизации транспортных средств и ускорить сам процесс, так как проведение испытаний на готовых или тестовых образцах может потребовать существенных временных и материальных затрат.

Выводы

1. Предложенные мероприятия по тюнингу автомобиля УАЗ «Хантер» обладают рядом преимуществ по сравнению с исходной конструкцией: увеличенный дорожный просвет, улучшенные углы проходимости, повышенная энергоёмкость подвески. В процессе виртуальных испытаний была полностью подтверждена эффективность предложенных решений и их соответствие требованиям ГОСТ 31507-2012 к управляемости и устойчивости на дорогах общего пользования.

2. Автомобиль после тюнинга успешно проходит виртуальное испытание «поворот» ГОСТ 31507 2012 на скорости до 68 км/ч включительно, а также выполняет условия упражнения «переставка» на скорости до 75 км/ч включительно; на более высоких скоростях происходит выход за границу дорожного полотна.

Библиографический список

1. Ахметханов, В. Б. Модернизация серийного автомобиля УАЗ 39625 для участия в экспедициях / В. Б. Ахметханов, Н. Н. Карпинский, Е. С. Федорченко. [Электронный ресурс] – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. URL: <https://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s106/s106-007.pdf?ysclid=mpcpel0sn3579098667> (дата обращения: 08.05.2026).
2. Универсальный механизм: официальный сайт. – URL: <https://umlab.ru/> (дата обращения: 08.05.2026).
3. Гирченко, А. А. Компьютерное моделирование динамики транспортных средств в программном комплексе «Универсальный механизм» / А. А. Гирченко, А. А. Коротенко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 5. – С. 45-52.
4. ГОСТ 31507-2012. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2014-01-01. – М.: Стандартинформ, 2013. - 24 с.

References

1. Akhmetkhanov, V. B. Modernization of the UAZ 39625 Production Car for Participation in Expeditions / V. B. Akhmetkhanov, N. N. Karpinsky, and E. S. Fedorchenko. [Electronic resource] – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2013. URL: <https://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s106/s106-007.pdf?ysclid=mpcpel0sn3579098667> (accessed: 08.05.2026).
2. Universal Mechanism: Official Website. – URL: <https://umlab.ru/> (accessed: 08.05.2026).
3. Girchenko, A. A. Computer Modeling of Vehicle Dynamics in the Universal Mechanism Software Complex / A. A. Girchenko, A. A. Korotenko // Bulletin of the Bryansk State Technical University. – 2018. – No. 5. – Pp. 45-52.
4. GOST 31507 2012. Motor vehicles. Controllability and stability. Technical requirements. Test methods: national standard of the Russian Federation: date of introduction 2014 01 01. Moscow: Standartinform, 2013. 24 p.

*Воронежский государственный
технический университет
Студент дорожно-транспортного
факультета Д.С. Чередниченко
Студент факультета радиотехники
и электроники Д.С. Мацокин
Студент факультета радиотехники
и электроники Д.Ю. Литвинов
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (960) 113-99-66
e-mail: info@vrtx-lab.ru*

*Voronezh State
Technical University
Student of the Faculty of Roads and Transport
D.S. Cherednichenko
Student of the Faculty of Radio Engineering
and Electronics D.S. Matsokin
Student of the Faculty of Radio Engineering and
Electronics D.U. Litvinov
Russia, Voronezh, tel. +7 (960) 113-99-66
e-mail: info@vrtx-lab.ru*

Д.С. Чередниченко, Д.С. Мацокин, Д.Ю. Литвинов

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ КОМПОНОВКИ ГОНОЧНОГО АВТОМОБИЛЯ КЛАССА «ФОРМУЛА СТУДЕНТ»

В статье рассматривается применение 3D-сканирования корпусных элементов двигателя мотоцикла CFMoto 650NK ABS для уточнения компоновки гоночного автомобиля класса «Формула Студент». Описывается необходимость получения достоверной геометрии силового агрегата, измерения его массовых параметров и последующей обработки полученных данных средствами реверс-инжиниринга для снижения вычислительной нагрузки и расширения возможностей модификации модели в системах автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: Формула Студент, гоночный автомобиль, компоновка, двигатель, 3D-сканирование, реверс-инжиниринг, САПР.

D.S. Cherednichenko, D.S. Matsokin, D.U. Litvinov

APPLICATION OF ENGINE 3D SCANNING TO REFINE THE LAYOUT OF A FORMULA STUDENT RACING CAR

The article discusses the application of 3D scanning of the body elements of the CFMoto 650NK ABS motorcycle engine to refine the layout of a Formula Student racing car. The need to obtain reliable powertrain geometry, measure its mass parameters and further process the acquired data using reverse engineering tools to reduce computational load and expand the possibilities of model modification in computer-aided design systems is described.

Keywords: Formula Student, racing car, layout, engine, 3D scanning, reverse engineering, CAD.

Гоночный автомобиль класса «Формула Студент» представляет собой сложную техническую систему, в которой компоновочные решения оказывают непосредственное влияние на массу, положение центра тяжести, развесовку, жесткость несущей системы, доступность узлов для обслуживания и общую эксплуатационную пригодность конструкции. При этом силовой агрегат является одним из наиболее значимых элементов болида, поскольку его габариты, масса, расположение точек крепления и взаимное положение с трансмиссией определяют облик задней части автомобиля, конфигурацию пространственной рамы, трассировку выпускной и впускной систем, размещение радиаторов, топливной системы и элементов электрооборудования [1].

В условиях студенческой инженерно-гоночной команды задача компоновки двигателя осложняется тем, что доступ к исходным конструкторским данным силового агрегата, как правило, ограничен. Производители мотоциклетной техники не предоставляют полные твердотельные модели двигателей, пригодные для использования в САПР. При этом использование приближенных геометрических оболочек, построенных на основании общих габаритных размеров, не позволяет в полной мере оценить реальные зазоры между агрегатами, доступность крепежных соединений, положение выступающих элементов корпуса и возможность последующей доработки конструкции болида [2].

Для гоночного автомобиля класса «Формула Студент» подобные погрешности могут привести к необходимости значительных изменений уже на этапе изготовления или сборки. Это особенно критично для пространственной рамы, поскольку изменение положения двигателя после завершения проектирования несущей системы может повлечь за собой изменение точек крепления, усилений, элементов подвески, выпускной системы и компоновки заднего подрамника. Следовательно, на ранних стадиях проектирования требуется использовать максимально достоверную геометрическую модель силового агрегата [3].

В качестве объекта исследования был выбран двигатель мотоцикла CFMoto 650NK ABS. Данный мотоцикл оснащается рядным двухцилиндровым четырехтактным двигателем жидкостного охлаждения с рабочим объемом около 649 см³; в спецификациях CFMOTO для 650NK указываются рядная двухцилиндровая схема, жидкостное охлаждение, газораспределительный механизм DOHC и габариты мотоцикла 2114×750×1100 мм, что подтверждает принадлежность силового агрегата к типоразмеру, применимому для компактного гоночного автомобиля класса «Формула Студент».

Для получения достоверной геометрии двигатель был демонтирован с мотоцикла CFMoto 650NK ABS и разобран на отдельные корпусные элементы. Такой подход был выбран ввиду того, что сканирование двигателя в сборе не позволяет получить полную информацию о закрытых и труднодоступных поверхностях, а также затрудняет построение корректной модели для последующего использования в компоновке. Раздельное сканирование корпусных элементов позволяет повысить точность цифрового представления, уточнить форму сопрягаемых поверхностей, выявить выступающие элементы и получить более полное представление о реальной геометрии агрегата.

Сканирование выполнялось с применением 3D-сканера Creality Raptor X. Данный сканер относится к классу портативных метрологических 3D-сканеров и использует несколько источников света, включая синий лазер и инфракрасное структурированное излучение; в техническом описании Creality указывается максимальная точность до 0,02 мм, а также режимы сканирования с использованием 34 перекрестных и 7 параллельных лазерных линий. Это позволяет применять его для оцифровки как крупных корпусных элементов, так и отдельных участков с повышенными требованиями к детализации.

Полученные сканы корпусных элементов двигателя были объединены и загружены в цифровую модель гоночного автомобиля. На данном этапе они могут использоваться для проверки пространственного положения силового агрегата относительно рамы, подвески, трансмиссии, элементов охлаждения и выпускной системы. Однако непосредственное использование необработанной полигональной сетки в составе полной сборки автомобиля имеет ряд ограничений. Сканированные модели, как правило, содержат большое количество треугольных элементов, что существенно увеличивает нагрузку на вычислительные ресурсы и затрудняет работу с крупной сборкой в САПР.

Кроме того, полигональная модель, полученная после сканирования, ограниченно пригодна для последующей инженерной доработки. Ее можно использовать для визуальной проверки зазоров и общей компоновки, однако изменение геометрии, построение технологических элементов, создание сопряжений, корректировка креплений и подготовка конструкторской документации требуют перехода к более удобной для проектирования поверхностной или твердотельной модели. Поэтому дальнейшим этапом работы является реверс-инжиниринг полученных сканов в программной среде GeoMagic.

Реверс-инжиниринг в данном случае должен решать не задачу полного воспроизведения всех мелких особенностей литых поверхностей двигателя, а задачу создания инженерно пригодной модели. Такая модель должна сохранять критически важную геометрию: габаритные размеры, плоскости крепления, отверстия, посадочные поверхности, выступающие элементы, зоны возможных контактов с рамой и агрегатами, а также поверхности, влияющие на компоновку. При этом второстепенные неровности, мелкие литейные особенности и избыточные элементы полигональной сетки могут быть упрощены.

Сопоставление задач, решаемых на различных этапах цифровизации двигателя, представлено в таблице.

Таблица

Сопоставление задач, решаемых на различных этапах цифровизации двигателя

Этап работы	Основная задача	Инженерный результат
Демонтаж двигателя с мотоцикла	Получение доступа к силовому агрегату и его основным корпусным элементам	Возможность автономного исследования двигателя вне мотоциклетной рамы
Разборка двигателя на корпусные элементы	Открытие труднодоступных поверхностей и сопрягаемых зон	Повышение полноты и достоверности геометрических данных
Раздельное 3D-сканирование элементов	Получение цифровых моделей деталей корпуса двигателя	Формирование полигональной геометрии для последующей сборки
Измерение массовых параметров	Определение массы отдельных элементов и агрегата в целом	Уточнение развесовки, положения центра тяжести и расчетной модели автомобиля
Загрузка скана в модель болида	Проверка положения двигателя относительно рамы и смежных систем	Выявление компоновочных конфликтов на ранней стадии проектирования
Реверс-инжиниринг в GeoMagic	Преобразование скана в инженерно пригодную модель	Снижение нагрузки на ПК и расширение возможностей модификации в САПР
Использование модели в САПР	Работа с упрощенной, но достоверной геометрией двигателя	Уточнение креплений, зазоров, технологичности и ремонтпригодности конструкции

Особое значение имеет измерение массовых параметров двигателя. При проектировании гоночного автомобиля важно знать не только геометрию силового агрегата, но и его фактическую массу, распределение массы по отдельным элементам и ориентировочное положение центра тяжести. В отличие от общей справочной информации о мотоцикле, фактические параметры конкретного двигателя могут отличаться из-за комплектации, отсутствия части навесного оборудования, изменений выпускной или впускной системы, удаления элементов, не применяемых в составе болида, а также последующих доработок.

Раздельное взвешивание корпусных элементов и агрегатов двигателя позволяет уточнить расчетную модель автомобиля. Эти данные могут использоваться при определении положения центра тяжести болида, оценке развесовки по осям, выборе положения двигателя в раме и анализе влияния силового агрегата на компоновку подвески. При дальнейшем развитии модели возможно также получение приближенных инерционных характеристик на основе обработанной геометрии и заданных материалов, однако такие данные должны рассматриваться как расчетные и требуют отдельной верификации.

Наиболее важным результатом 3D-сканирования является возможность перейти от условного объемного макета двигателя к достоверной массово-геометрической модели. Такая модель позволяет не только определить, помещается ли двигатель в заданном пространстве, но и оценить доступность крепежных соединений, возможность установки кронштейнов, траекторию демонтажа агрегата, положение выпускных патрубков, размещение цепной передачи, зазоры до элементов рамы и удобство обслуживания. Для студенческой команды это особенно важно, поскольку устранение компоновочных ошибок после изготовления рамы требует значительных временных и материальных затрат.

При этом использование полной сканированной модели без обработки не является рациональным. Высокая детализация полигональной сетки увеличивает размер файлов, снижает скорость работы со сборкой и затрудняет внесение изменений. В результате цифровая модель может быть формально точной, но практически неудобной для проектирования. Поэтому реверс-инжиниринг в GeoMagic следует рассматривать как обязательный этап подготовки данных к инженерному применению, а не как дополнительную операцию.

В процессе реверс-инжиниринга целесообразно разделять поверхности двигателя на несколько групп. К первой группе относятся функционально значимые поверхности: плоскости крепления, отверстия, оси валов, посадочные зоны и элементы, определяющие взаимное положение агрегатов. Они должны быть восстановлены с максимальной точностью. Ко второй группе относятся компоновочно значимые поверхности: наружные стенки корпуса, крышки, выступающие элементы и зоны потенциального контакта с рамой или навесным оборудованием. Они должны сохранять достоверную форму, но могут быть упрощены. К третьей группе относятся второстепенные литейные неровности и мелкие элементы, не влияющие на компоновку и крепление. Их можно исключить или заменить упрощенными поверхностями.

Такой подход позволяет получить модель, которая одновременно сохраняет инженерную достоверность и остается удобной для работы в САПР. После обработки она может быть использована для проектирования кронштейнов двигателя, проверки доступности инструмента, уточнения геометрии рамы, размещения радиаторов, прокладки трубопроводов и проводки, а также анализа технологичности сборки. Кроме того, наличие обработанной модели позволяет быстрее вносить изменения при доработке болида, поскольку инженер работает не с тяжелой полигональной сеткой, а с параметрически или поверхностно организованной геометрией [4].

Отдельно следует отметить, что применение 3D-сканирования двигателя имеет значение не только для текущей компоновки, но и для формирования цифрового архива проекта. При дальнейшем развитии болида команда может использовать полученную модель для сравнения различных вариантов расположения силового агрегата, анализа изменений в конструкции, подготовки презентационных материалов, обучения новых участников и документирования проектных решений. Это соответствует общей логике цифрового проектирования, при которой реальные элементы автомобиля постепенно переводятся в единую цифровую среду [5].

Таким образом, 3D-сканирование двигателя мотоцикла CFMoto 650NK ABS является эффективным инструментом уточнения компоновки гоночного автомобиля класса «Формула Студент». Разборка двигателя и раздельное сканирование его корпусных элементов позволяют получить более достоверную геометрию по сравнению с приближенными макетами, а измерение массовых параметров повышает точность расчетной модели автомобиля. При этом для полноценного инженерного использования полученные сканы должны быть обработаны средствами реверс-инжиниринга в GeoMagic, что позволит снизить нагрузку на вычислительные ресурсы, упростить работу в САПР и расширить возможности дальнейшей модификации конструкции болида.

Библиографический список

1. Formula Student Rules 2026 (Электронный ресурс). URL: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2026/rules/FS-Rules_2026_v1.1.pdf (дата обращения: 18.04.2026).
2. Комплекс инструментов для создания цифрового двойника гоночного болида класса «Формула Студент» / Н. С. Жидких, В. К. Епанчинцев, В. А. Лобков [и др.] // Фундаментальные и прикладные науки сегодня : Материалы XXIX международной научно-практической конференции, Bengaluru, 22–23 августа 2022 года. – Bengaluru: Pothi.com, 2022. – С. 69-72. – EDN YCNDRA.
3. Жидких, Н. С. Разработка V-модели управления проектами по созданию новых моделей автомобилей с применением технологий цифровых двойников / Н. С. Жидких, И. В. Поцбенева, А. В. Смольянинов // Качество и жизнь. – 2023. – № 2(38). – С. 3-9. – DOI 10.34214/2312-5209-2023-38-2-03-09. – EDN VMKICE.
4. Организация процесса разработки автомобиля на примере студенческой инженерно-гоночной команды / Н. С. Жидких, Д. С. Мацокин, А. А. Андрейкин, Е. А. Логунова // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2024. – № 2. – С. 52-55. – EDN HWMGFD.
5. Андрейкин, А. А. Применение контекстного моделирования как инструмента повышения качества автомобиля на ранних стадиях его жизненного цикла / А. А. Андрейкин, А. И. Гетман, Н. С. Жидких // Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте : Материалы Международной молодежной научно-практической конференции, Воронеж, 17–18 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 230-236. – DOI 10.58168/DPIITT2024_230-236. – EDN VQFXMM.

References

1. Formula Student Rules 2026 (Electronic resource). URL: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2026/rules/FS-Rules_2026_v1.1.pdf (accessed: 04/18/2026).
2. A set of tools for creating a digital twin of a Formula Student racing car / N. S. Zhidkikh, V. K. Epanchintsev, V. A. Lobkov [et al.] // Fundamental and Applied Sciences today : Proceedings of the XXIX International Scientific and practical conference, Bengaluru, August 22-23, 2022. – 2023. – No. 2(38). – Pp. 3-9. – DOI 10.34214/2312-5209-2023-38-2-03-09. – EDN VMKICE
3. Development of a V-model of project management for the creation of new car models using digital twin technologies / N. S. Zhidkikh, I. V. Potsebyneva, A. V. Smolyaninov // Quality and Life. – 2023. – No. 2(38). – Pp. 3-9. – DOI 10.34214/2312-5209-2023-38-2-03-09. – EDN VMKICE.
4. Organization of the car development process on the example of a student engineering racing team / N. S. Zhidkikh, D. S. Matsokin, A. A. Andreykin, E. A. Logunova // High Technologies in the Construction Complex. – 2024. – No. 2. – Pp. 52-55. – EDN HWMGFD.
5. Andreykin, A. A. Application of Contextual Modeling as a Tool for Improving the Quality of a Vehicle in the Early Stages of Its Life Cycle / A. A. Andreykin, A. I. Getman, and N. S. Zhidkikh // Prospects for Development, Innovation, and Information Technologies in Transport: Proceedings of the International Youth Scientific and Practical Conference, Voronezh, October 17–18, 2024. – Voronezh: G.F. Morozov Voronezh State Forestry University, 2024. – Pp. 230-236. – DOI 10.58168/DPIITT2024_230-236. – EDN VQFXMM.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

УДК 621.874

*Воронежский государственный
технический университет
Магистр дорожно-транспортного
факультета Н.С. Абрамов
Россия, г. Воронеж, тел. +7(920) 451-50-31
e-mail: nik-abramov-88@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог
и мостов А.В. Андреев
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-76-83-91
e-mail: aandreev@cchgeu.ru
Кандидат технических наук, доцент
кафедры проектирования автомобильных
дорог и мостов
О.А. Волокитина
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-76-83-91
e-mail: dixi.o@mail.ru
Кандидат технических наук, доцент
кафедры проектирования автомобильных
дорог и мостов В.П. Волокитин
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-76-83-91
e-mail: nova.vp@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University
Master of the Faculty of Road Transport
N.S. Abramov
Russia, Voronezh, tel. +7(920) 451-50-31
e-mail: nik-abramov-88@mail.ru
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of Highway
and Bridge Engineering A.V. Andreev
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-76-83-91
e-mail: aandreev@cchgeu.ru
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of Design
of Automobile Roads and Bridges
O.A. Volokitina
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-76-83-91
e-mail: dixi.o@mail.ru
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of Design
of Highways and Bridges V.P. Volokitin
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-76-83-91 e-
mail: nova.vp@mail.ru*

Н.С. Абрамов, А.В. Андреев, О.А. Волокитина, В.П. Волокитин

ПРИМЕНЕНИЕ КОНСОЛЬНО-ШЛЮЗОВОГО КРАНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ МАГИСТРАЛИ

Современное мостостроение требует внедрения инновационных технологий, способных ускорить возведение конструкций без ущерба их надежности. Одним из перспективных направлений является использование консольно-шлюзовых кранов с адаптированными шлюзовыми механизмами, которые позволяют оптимизировать последовательную балочную сборку пролетов. Как показывают исследования, их применение обеспечивает повышение скорости монтажа эстакад на 20...30% по сравнению с традиционными методами.

Ключевые слова: консольно-шлюзовой кран, основные узлы и механизмы, методы расчёта нагрузок, экономическая эффективность.

APPLICATION OF A CONSOLE-SLUICE CRANE IN THE CONSTRUCTION OF A HIGH-SPEED RAILWAY

Modern bridge construction requires the implementation of innovative technologies capable of accelerating the erection of structures without compromising their reliability. One of the promising directions is the use of cantilever cranes with adapted lock mechanisms, which allow for the optimization of sequential beam assembly of spans. As research shows, their application ensures a 20...30% increase in the speed of viaduct installation compared to traditional methods.

Keywords: console-sluice crane, main components and mechanisms, load calculation methods, and economic efficiency.

Актуальность исследования обусловлена глобальным ростом транспортного строительства, особенно в развивающихся регионах с интенсивным развитием дорожных сетей. Строительство высокоскоростных магистралей и городских эстакад требует технологий, сочетающих высокую производительность с адаптивностью к сложным условиям. В этом контексте консольно-шлюзовые краны представляют особый интерес благодаря своей маневренности и возможности работы на ограниченных площадках.

На кафедре проектирования автомобильных дорог и мостов в рамках магистерской работы проводилось исследование, в котором изучался вопрос по целесообразности применения консольно-шлюзового крана относительно других методов монтажа пролётных строений на примере строительства железнодорожной эстакады на участке км 14 - км 28 - «Высокоскоростная железнодорожная магистраль Санкт-Петербург - Москва (участок Крюково (Алабушево) - Обухово) 1 этап - Строительство участка Обухово-2 - Великий Новгород ВСМ».

Консольно-шлюзовой кран осуществляет перемещение грузов посредством синхронизированного взаимодействия двух основных систем: консольной стрелы и шлюзового механизма. Консоль обеспечивает радиальное перемещение груза в горизонтальной плоскости, в то время как шлюзовой механизм отвечает за вертикальное позиционирование с высокой точностью. Такая комбинация позволяет выполнять сложные траектории перемещения без необходимости перестановки опорных элементов. Совместная работа этих систем обеспечивает эффективное выполнение монтажных операций в стесненных условиях строительных площадок.

Консольная конструкция крана играет решающую роль в обеспечении вылета стрелы за пределы опорной базы оборудования. За счет шарнирного крепления и механизма поворота консоль может охватывать значительную рабочую зону без изменения положения основной платформы. Это свойство особенно ценно при монтаже мостовых пролетов, где требуется доставка конструктивных элементов к месту установки с фиксированных позиций. Оптимальное распределение нагрузок по длине консоли достигается за счет применения усиленных ферменных конструкций [1, 2].

Шлюзовой механизм отличается уникальными характеристиками при работе с крупногабаритными элементами мостовых конструкций. Его конструкция обеспечивает плавное вертикальное перемещение грузов за счет системы синхронизированных лебедок и направляющих рельсов. Это позволяет минимизировать динамические воздействия на монтируемые элементы при их позиционировании. Особое значение данный механизм приобретает при установке предварительно напряженных железобетонных балок, требующих точного совмещения монтажных меток (рис. 1, 2).



Рис. 1. Мостовой консольно-шлюзовой кран с одной направляющей балкой

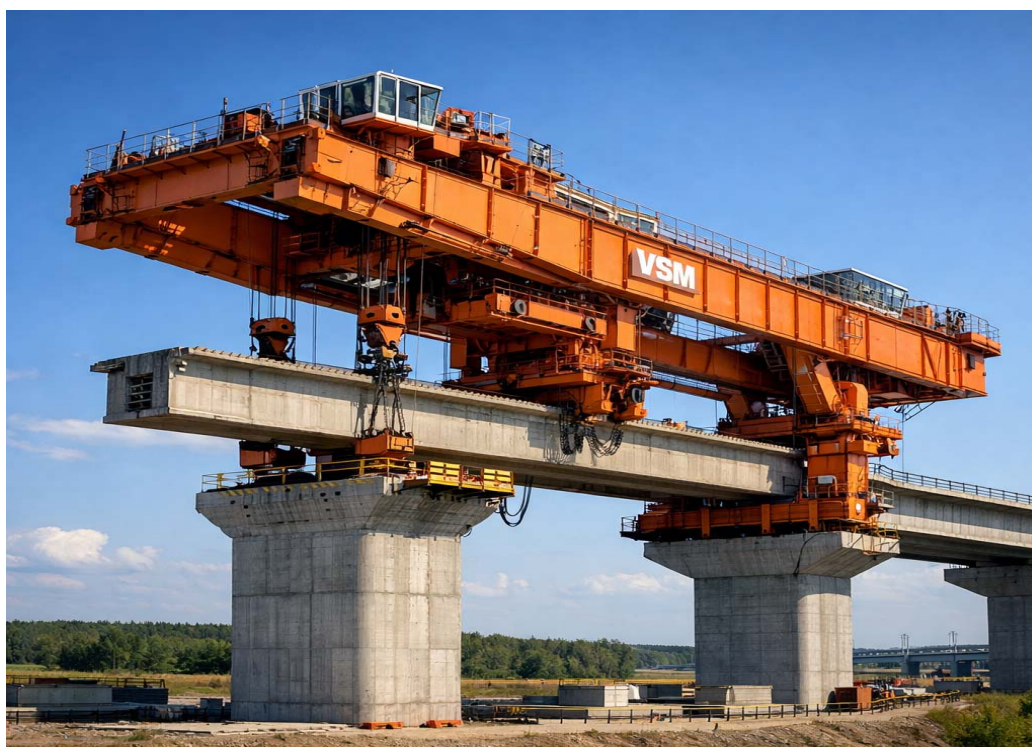


Рис. 2. Консольно-шлюзовой кран с двумя направляющими балками

Расчет статических нагрузок при транспортировке элементов включает определение веса груза, собственной массы крана и усилий в опорных узлах. Особое внимание уделяется распределению давления на ходовые тележки при перемещении конструкций пролетного строения. Для точного прогнозирования напряжений в элементах крана применяются методы конечно-элементного анализа. Нормативные документы СП 46.13330 устанавливают коэффициенты надежности при проектировании грузоподъемных систем [3]. Динамические нагрузки возникают при пусковых режимах механизмов, ветровом воздействии и сейсмических колебаниях. Учет инерционных сил требует анализа резонансных частот конструкции крана и транспортируемого груза. Компьютерное моделирование в программных комплексах SCAD позволяет прогнозировать поведение системы при переменных скоростях перемещения. Экспериментальные исследования подтверждают необходимость введения динамического коэффициента 1.1-1.3 для критичных узлов крепления.

Практический опыт применения консольно-шлюзовых кранов демонстрирует прямую зависимость времени монтажа от грузоподъемности оборудования. При грузоподъемности 50-80 тонн цикл установки пролетных строений сокращается на 15-20% по сравнению с моделями меньшей мощности за счет уменьшения количества операций. «Оптимальное соотношение технических характеристик и скорости монтажа достигается при использовании кранов средней грузоподъемности в диапазоне 60-100 тонн» — этот вывод подтвержден данными пяти мостовых проектов. Сравнительный анализ проектов в Санкт-Петербурге и Новосибирске выявил, что увеличение грузоподъемности крана сверх 120 тонн не дает пропорционального сокращения сроков. Избыточная мощность приводит к удорожанию логистики и необходимости усиления опорных конструкций.

Механизм несущей рамы консольно-шлюзового крана представляет собой пространственную металлоконструкцию, обеспечивающую устойчивость при работе с грузами. Для компенсации опрокидывающих моментов применяется противовесная система, расположенная в задней части крана. Конструкция рамы из высокопрочной стали рассчитана на восприятие переменных нагрузок при перемещении грузов. Рациональное распределение массы противовеса гарантирует стабильность крана во время операций.

Грузоподъемный механизм включает канатные полиспасты с многослойной навивкой на барабаны, обеспечивающие плавный подъем конструкций. Тормозные устройства колодочного типа с электромагнитным управлением предотвращают самопроизвольное опускание груза. Система оснащена синхронизацией движения барабанов для исключения перекосов при подъеме крупногабаритных элементов. Дублированные тормоза обеспечивают аварийную остановку механизма при превышении допустимых параметров.

Электромеханическая система управления обеспечивает перемещение крана по рельсовым путям с регулируемой скоростью до 30 м/мин. Приводные тележки с частотно-регулируемыми двигателями позволяют точно позиционировать кран при монтаже пролетных строений. Система контроля синхронизации движения колесных пар предотвращает перекосы ходовой части. Микропроцессорное управление обеспечивает согласованную работу всех механизмов в автоматизированных циклах [4].

Системы безопасности включают электронные ограничители грузоподъемности, блокирующие операции при достижении 95% от номинальной нагрузки. Аварийные стопоры автоматически срабатывают при обрыве канатов или выходе механизмов за рабочие зоны. Датчики наклона рамы передают сигналы в систему управления при превышении допустимого угла отклонения. Резервирование критических узлов управления обеспечивает отказоустойчивость крана в сложных эксплуатационных условиях (рис. 3).

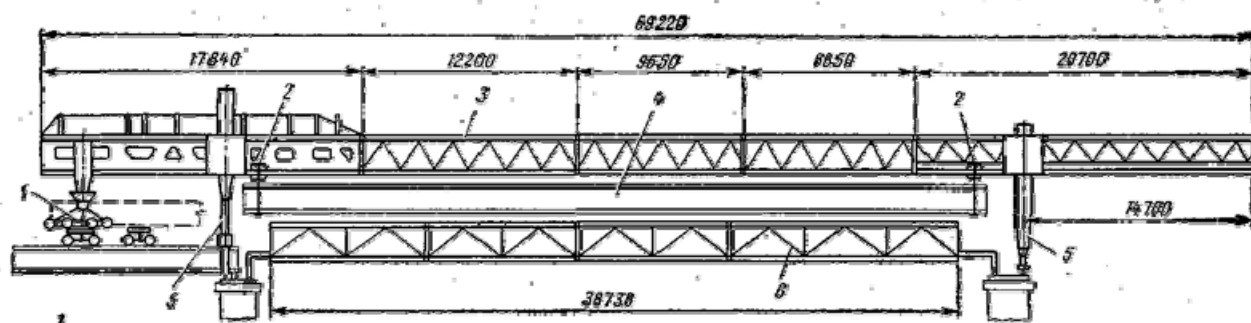


Рис. 3. Шлюзовой кран МКШ-100:

1 – пневмотележка; 2 – грузовая тележка; 3 – главная балка; 4 – устанавливаемая балка;
5 – опорные телескопические ноги; 6 – вспомогательная балка

Оценка экономической эффективности обусловлена капитальными затратами на приобретение и монтаж консольно-шлюзового крана сопоставима с традиционными подъемными системами, однако требуют более точного проектирования опорных конструкций. Значительные первоначальные инвестиции компенсируются снижением эксплуатационных расходов за счет высокой энергоэффективности механизмов. Особенностью является сокращение затрат на вспомогательное оборудование благодаря автономности работы крана. Эксплуатационные расходы демонстрируют устойчивое преимущество за счет минимального обслуживания шлюзовых механизмов и редукторных передач. Снижение потребности в рабочей силе достигается автоматизацией основных операций по перемещению грузов. Важным фактором остается оптимизация логистики строительных материалов, сокращающая простои оборудования [5].

Технологические преимущества консольно-шлюзовых кранов обеспечивают сокращение сроков монтажа на 15-20%. Ускорение работ достигается за счет одновременного выполнения операций по горизонтальному и вертикальному перемещению конструкций. Особенно заметен эффект при строительстве эстакад со сложной пространственной конфигурацией, где требуется частая перепозиционирование оборудования.

Основные преимущества консольно-шлюзовых кранов перед стреловыми и козловыми кранами:

1. Независимость от рельефа местности – это ключевой фактор, который делает их незаменимыми при строительстве мостов через глубокие ущелья, широкие реки или в условиях плотной городской застройки. Стреловые и козловые краны: требуют подготовки ровных площадок на земле или возведения временных насыпей в русле реки. Для козловых кранов нужно прокладывать подкрановые пути по всей длине объекта. Консольно-шлюзовые краны перемещаются «поверху» — по уже смонтированным опорам и пролетам моста. Им не важна глубина реки, высота опор или болотистая местность под мостом.

2. Для работы консольно-шлюзового крана не нужно строить временные дороги вдоль всего моста для подвоза балок к месту монтажа, балки могут подаваться на кран прямо по уже готовой части моста, что значительно экономит бюджет на временную инфраструктуру и снижает экологическую нагрузку на местность.

3. Стреловые краны имеют ограничение по грузоподъемности, зависящее от вылета стрелы. При работе с тяжелыми балками на большом вылете существует риск опрокидывания. Часто требуется работа «парой» (двумя кранами), что усложняет координацию. Консольно-шлюзовые краны опираются на жесткие опоры. Груз перемещается внутри или под жесткой конструкцией фермы крана. Это исключает раскачивание груза и обеспечивает максимальную точность посадки балки на опорные части.

4. Безопасность и ветровая устойчивость. За счет низкого центра тяжести и жесткой фиксации на опорах моста, консольно-шлюзовые краны гораздо менее подвержены влиянию ветра, чем стреловые краны с длинными вылетами. Это позволяет сократить простои из-за погодных условий.

6. Возможность работы в стесненных условиях. Если мост строится параллельно существующей дороге или в узком городском коридоре, где невозможно разместить огромный мобильный кран или козловые пути, консольно-шлюзовой кран является единственным выходом, так как он занимает только ширину самого строящегося моста.

Выводы

Проведённое исследование подтвердило высокую эффективность применения консольно-шлюзового крана с модернизированными шлюзовыми механизмами в мостостроении. Анализ конструктивных особенностей оборудования выявил его потенциал для оптимизации последовательной балочной сборки пролётов. Реализация предложенных решений позволяет увеличить скорость возведения эстакад на 20...30% при одновременном снижении ресурсных затрат на 15...25% по сравнению с традиционными методами, что полностью соответствует поставленной цели работы. Предложенные инженерные решения, включая усовершенствованные узлы крепления и алгоритмы контроля нагрузок, прошли верификацию на практических кейсах строительства в сейсмоопасных регионах. Это позволяет минимизировать риски при работе в ветреных условиях и зонах повышенной сейсмической активности, обеспечивая необходимую устойчивость крана.

Библиографический список

1. Абрамович И.И., Боголюбов Л.Л. Создание и развитие конструкций однобалочных кранов мостового типа с монорельсовыми тележками // Подъемно-транспортное дело. – 2012.
2. Саламахин П.М., Маковский Л.В., Попов В.И. Инженерные сооружения в транспортном строительстве. — М.: Академия. – 2012.
3. СП 46.13330.2012 — свод правил «Мосты и трубы», актуализированная редакция СНиП 3.06.04-91.
4. Жегульский В.П., Лукашук О.А. Проектирование, Конструирование И Расчет Механизмов Мостовых Кранов — Екатеринбург. Издательство Уральского университета – 2016.
5. Шеин А.И., Раевский Л.А. Экономическая эффективность применения новых технологий для уменьшения колебаний высотных сооружений // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015.

References

1. Abramovich I.I., Bogolyubov L.L. Creation and development of single-girder overhead crane designs with monorail trolleys // Lifting and transport business. – 2012.
2. Salamakhin P.M., Makovsky L.V., Popov V.I. Engineering structures in transport construction. - Moscow: Academy. – 2012.
3. SP 46.13330.2012 - a set of rules "Bridges and pipes", an updated version of SNiP 3.06.04-91.
4. Zhegulsky V.P., Lukashuk O.A. Design, Construction and Calculation of Overhead Crane Mechanisms - Yekaterinburg. Ural University Publishing House – 2016.
5. Shein A.I., Raevsky L.A. Economic efficiency of using new technologies to reduce vibrations of high-rise structures // Internet journal "Science Studies". – 2015.

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры проектиро-
вания автомобильных дорог и мостов О.А.
Волокитина
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры проектиро-
вания автомобильных дорог и мостов
А.В. Андреев
e-mail: aavturbo@yandex.ru
Студент группы САС-201 Д.Г. Крюков
e-mail: dankruk13@yandex.ru*

*Voronezh State
Technical University
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge O.A. Volokitina
Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer
of Postgraduate at the Department of Road
and Bridge A.V. Andreev
e-mail: aavturbo@yandex.ru
Student of the SAS-201 group D.G. Kryukov
e-mail: dankruk13@yandex.ru*

О.А. Волокитина, А.В. Андреев, Д.Г. Крюков

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В ГОРНЫХ СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ НА ПРИМЕРЕ РАСЧЕТА ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ ВЫСОТОЙ БОЛЕЕ 5 МЕТРОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТА ЧЕРЕЗ РЕКУ МАКОПСЕ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

В данной статье рассмотрен вопрос необходимости устройства подпорных стен в соответствии с требованием к обеспечению устойчивости насыпи земляного полотна в горных стесненных условиях для конкретных исходных данных объекта реконструкции.

Ключевые слова: подпорные стены, нагрузки, воздействия, сейсмическое воздействие, заданные характеристики.

О.А. Volokitina, A.V. Andreev, D.G. Kryukov

ENSURING THE STABILITY OF THE EARTED ROADWAY MASS IN MOUNTAIN CLOSE CONDITIONS ON THE EXAMPLE OF CALCULATION OF THE SUPPORT WALL WITH A HEIGHT OF MORE THAN 5 METERS IN THE RECONSTRUCTION OF THE BRIDGE OVER THE MAKOPSE RIVER IN THE KRASNODAR REGION

This article discusses the need for the construction of retaining walls in accordance with the requirement to ensure the stability of the earted roadway in mountain close conditions for specific initial data of the reconstruction object.

Keywords: retaining walls, loads, effects, seismic effects, specified characteristics.

Подпорные сооружения – это конструкции, предназначенные для удержания грунта и предотвращения его обрушения или сползания на участках с перепадами высот, крутыми склонами, выемками и насыпями. Они широко применяются в строительстве дорог, гидротехнических объектов, террасировании и благоустройстве территорий. По конструктивному принципу подпорные сооружения бывают массивными (гравитационными), тонкостенными (консольными) или гибкими. Основная функция – сопротивление боковому давлению грунта и обеспечение устойчивости склонов и выемок. На выбор подпорного сооружения влияет ряд факторов:

- Перепад высот и рельеф местности – тип подпорного сооружения определяется величиной перепада высот и сложностью рельефа. Для значительных перепадов высот могут потребоваться массивные конструкции с контрфорсами или гибкие системы с несколькими уровнями креплений;

- Срок эксплуатации – для временных объектов допускается использование упрощенных конструкций или бывших в употреблении, тогда как для долгосрочных сооружений требуется повышенная надежность и, возможно, дополнительное усиление;

- Инженерно-геологические условия – характеристики грунтов, их несущая способность и устойчивость оказывают прямое влияние на выбор конструкции. При наличии слабых грунтов или высоких уровней подземных вод рекомендуется использовать сплошные подпорные стены, такие как шпунтовые, с заглублением в слой грунта с низкой фильтрацией;

- Стесненность строительной площадки – в условиях плотной застройки или ограниченного пространства предпочтение отдается гибким подпорным стенам с анкерами или распорками, поскольку такое устройство занимает меньше пространства, чем крепление в естественных откосах;

- Наличие подземных вод – при высоком уровне подземных вод необходимо предусмотреть меры по снижению их воздействия, включая заглубление конструкции в водоупорные слои.

На объекте реконструкции – мостовом сооружении через реку Макопсе необходимо устройство подпорных стен явилось обеспечение устойчивости насыпи земляного полотна в горных стесненных условиях.

Исходными характеристиками для расчета подпорных стен служат следующие данные: подпорные стены выполнены из тяжелого монолитного бетона В30; F200; W6. В основании свайный ростверк на буронабивных сваях диаметром 0,6 м, заделанный в жесткие грунтовые породы. Устойчивость подпорных стен обеспечена устройством контрфорсов. Толщина стен 0,4 м. Конструкции стен плавно вписаны в существующий рельеф. Для восприятия температурных воздействий конструкции подпорных стен разделены на секции длиной, не превышающей 20 м.

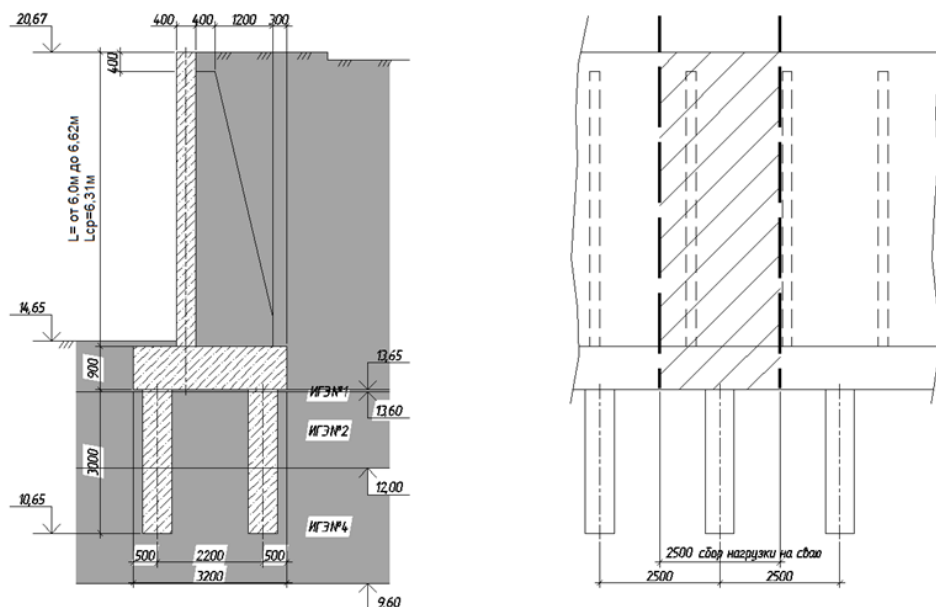


Рис. 1. Схема расположения элементов подпорной стенки

Нагрузки и воздействия, действующие на подпорную стенку, определяют в соответствии с [1].

Вертикальная нормативная нагрузка от собственного веса подпорной стенки и фундамента рассчитываются по формулам

$$\sum P_{\text{жб}}^{\text{H}} = P_{\text{жб стенка}}^{\text{H}} + P_{\text{жб контрфорс}}^{\text{H}} + P_{\text{жб фундамент}}^{\text{H}} \quad (1)$$

$$\sum P_{\text{жб}}^{\text{H}} = \sum P_{\text{жб}}^{\text{H}} \cdot L_{\text{шаг свай}} \quad (2)$$

Согласно [1] коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,1$.

Вертикальная расчетная нагрузка от собственного веса подпорной стенки и фундамента рассчитывается по формулам

$$P_{\text{жб}}^{\text{P}} = \gamma_f \cdot P_{\text{жб}}^{\text{H}} \quad (3)$$

$$\sum P_{\text{жб}}^{\text{P}} = (P_{\text{жб стенка}}^{\text{P}} + P_{\text{жб контрфорс}}^{\text{P}} + P_{\text{жб фундамент}}^{\text{P}}) \cdot L_{\text{шаг свай}} \quad (4)$$

Вертикальное нормативное давление грунта насыпи составляет

$$P_{\text{гр}}^{\text{H}} = \rho_{\text{гр}}^{\text{H}} \cdot L_{\text{шаг свай}} \quad (5)$$

Вертикальное расчетное давление грунта насыпи рассчитывается по формуле

$$P_{\text{гр}}^{\text{P}} = \gamma_f \cdot P_{\text{гр}}^{\text{H}} \quad (6)$$

Согласно [1] нормативное горизонтальное (боковое) давление грунта от веса насыпи рассчитывается по формуле

$$P_n^{\text{H}} = \gamma_n \cdot h_x \cdot \tau_n \quad (7)$$

где h_x – высота засыпки;

γ_n – нормативный удельный вес грунта;

τ_n – коэффициент нормативного бокового давления грунта засыпки.

$$\tau_n = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{35^\circ}{2} \right) \quad (8)$$

где φ_n – нормативный угол внутреннего трения грунта.

Согласно [1], равнодействующую нормативного горизонтального (бокового) давления F_h^{H} от собственного веса насыпного грунта, а также грунта, лежащего ниже естественной поверхности земли при глубине заложения подошвы фундамента 3м и менее

$$F_h^{\text{H}} = \frac{1}{2} p_h^{\text{H}} \cdot h_x \cdot b \quad (9)$$

где b – ширина подпорной стенки в плоскости задних граней, на которую распределяется горизонтальное (боковое) давление грунта (определено из потребности сбора нагрузки на сваю).

Согласно [1] коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,4$.

Равнодействующая расчетного горизонтального давления грунта насыпи на подпорную стенку рассчитывается по формуле

$$F_h^{\text{P}} = \gamma_f \cdot F_h^{\text{H}} \quad (10)$$

Пассивное давление грунта

$$F_h^{\text{H}} = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot b \quad (11)$$

$$F_h^{\text{P}} = 0,9 \cdot F_h^{\text{H}} \quad (12)$$

Горизонтальное (боковое) давление грунта от транспортных средств автодорог

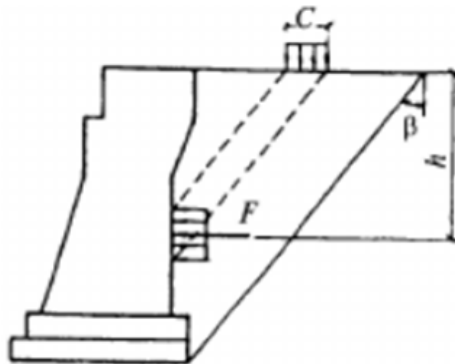


Рис. 2. Схема нагружения нагрузкой НК

Временная подвижная нагрузка принята, как для подпорных стен по [2].

Нагрузку НК (K=14) приводим к равномерно распределенной нагрузке интенсивностью $q_{нк}=5,4$ К на прямоугольной области с размерами: 3,8 м вдоль оси проезда и 3,5 м – поперек.

Расположение нагрузки принято согласно [2] – «...ось нагрузки НК следует располагать не ближе 1,75 м от внутренней грани ограждения или края проезжей части».

Для определения величины активного давления грунта воспользуемся формулами, предложенными Бергером и Коваленко

$$E_0 = 0,5 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \mu' \cdot B \quad (13)$$

$$e_0 = \frac{H}{3} \quad (14)$$

$$E = \gamma \cdot h_0 \cdot (H - h) \cdot \mu' \cdot B \quad (15)$$

$$e = 0,5 \cdot h_0 \cdot (H - h) \quad (16)$$

$$\mu' = \frac{\tan \omega}{\tan(\omega + \varphi)} \quad (17)$$

$$A = \frac{2 \cdot a \cdot h_0}{H \cdot (H + 2 \cdot h_0)} \quad (18)$$

$$h = \frac{a}{\tan \omega} \quad (19)$$

При этом из формул видно, что давление E_0 это величина F_h^H (F_h^P).

Вычислим искомую величину $E_{нк}^H$ ($E_{нк}^P$).

$$\omega_0 = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \quad (20)$$

Моделирование нагрузки слоем грунта толщиной h_0 высчитывается по формуле

$$h_0 = \frac{q_{нк}}{\gamma} \quad (21)$$

Согласно [2] $\gamma_f = 1,0$.

Равнодействующая расчетного горизонтального давления грунта от нагрузки Н14

$$E_{нк}^P = \gamma_f \cdot E_{нк}^H \quad (22)$$

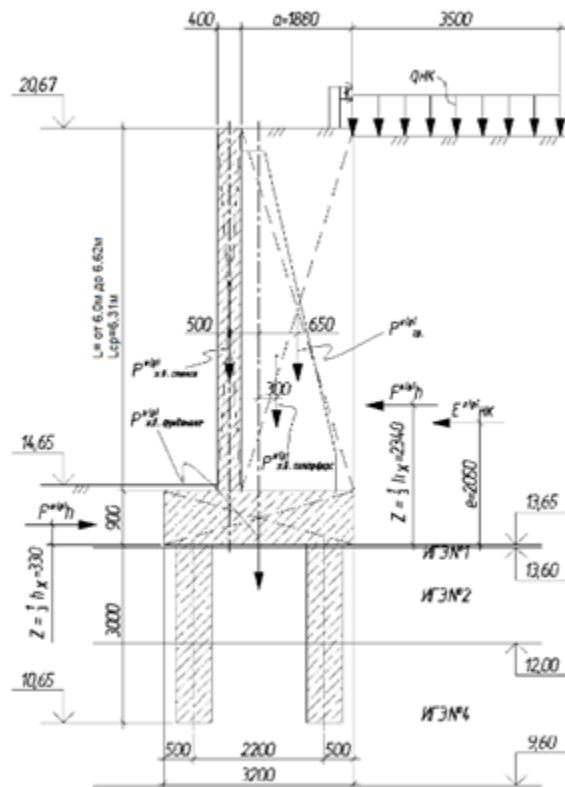


Рис. 3. Схема приложения нагрузок к подпорной стенке

Согласно [1] сейсмические нагрузки следует принимать в соответствии с требованиями [3].

Согласно инженерно-геологическим изысканиям расчетная сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий и трех степеней сейсмической опасности (А-10%, В-5%, С-1%), в течение 50-ти лет, согласно рекомендациям по применению карт общего сейсмического районирования ОСР-97 ([3], ([4]) составит для р. Макопсе 9 баллов.

Определяющим в работе подпорных стен на сейсмическое воздействие является боковое давление грунта. Поэтому необходимо вычислить горизонтальное сейсмическое давление (активное и пассивное) грунта на подпорную стену. При этом применим квазистатические расчетные схемы, принимая ускорение грунта равным произведению $K_0 \cdot K_1 \cdot A$.

Горизонтальное сейсмическое давление грунта на устой

Пассивное

$$q_c = (1 + 2 \cdot \frac{1}{g} \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot A \cdot \tan \varphi) \cdot q_0 \quad (23)$$

Активное

$$q_c = (1 + 2 \cdot \frac{1}{g} \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot A \cdot \tan \varphi) \cdot q_0 \quad (24)$$

где φ – угол внутреннего трения грунта;

q_0, q_0' – давление грунта на устой, вычисленное обычными методами без учета сейсмических воздействий;

g – ускорение свободного падения,

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

K_0 – коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность принимаемый по табл. 3 (см. п.5.5 [3]),

$K_0 = 1,0$;

K_1 – коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность принимаемый по табл. 4 (см. п.5.5 [3]),

$K_1 = 0,25$;

A – значение ускорения в уровне основания, принимаемое равным 1,0; 2,0; 4,0 м/с^2 , для расчетной сейсмичности 9 баллов,

$A = 4,0 \text{ м/с}^2$.

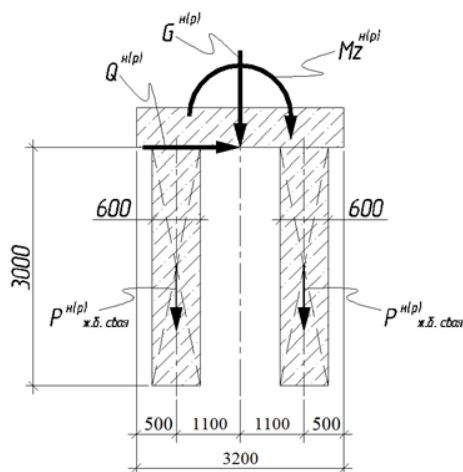


Рис. 4. Схема приложения нагрузок к подпорной стенке

Приведение постоянных и временных нагрузок к низу ростверка (без учета сеймики)

$$G^{н(р)} = P_{\text{жб стенка}}^{н(р)} + P_{\text{жб контрфорс}}^{н(р)} + P_{\text{жб фундамент}}^{н(р)} + P_{\text{гр}}^{н(р)} \quad (25)$$

$$Q^{н(р)} = -F_h^{н(р)} + F_h^{н(р)} - E_{\text{НК}}^{н(р)} \quad (26)$$

$$P_z^{н(р)} = -P_{\text{жб стенка}}^{н(р)} \cdot x_{\text{жб стенка}} + P_{\text{жб контрфорс}}^{н(р)} \cdot x_{\text{жб контрфорс}} + P_{\text{гр}}^{н(р)} \cdot x_{\text{гр}} - F_h^{н(р)} \cdot Z + F_h^{н(р)} \cdot Z - E_{\text{НК}}^{н(р)} \cdot e \quad (27)$$

Приведение постоянных и временных нагрузок к низу ростверка (с учетом сейсмики)

$$G^{(p)} = P_{\text{жб стенка}}^{(p)} + P_{\text{жб контрфорс}}^{(p)} + P_{\text{жб фундамент}}^{(p)} + P_{\text{гр}}^{(p)} \quad (28)$$

$$Q^{(p)} = - \left[F_h^{(p)} \right]_{\text{ПЗ}} + \left[F_h^{(p)} \right]_{\text{ПЗ}} - \left[E_{\text{НК}}^{(p)} \right]_{\text{ПЗ}} \quad (29)$$

$$M_z^{(p)} = -P_{\text{жб стенка}}^{(p)} \cdot x_{\text{жб стенка}} + P_{\text{жб контрфорс}}^{(p)} \cdot x_{\text{жб контрфорс}} + P_{\text{гр}}^{(p)} \cdot x_{\text{гр}} - \left[F_h^{(p)} \right]_{\text{ПЗ}} \cdot Z - \left[F_h^{(p)} \right]_{\text{ПЗ}} \cdot Z - \left[E_{\text{НК}}^{(p)} \right]_{\text{ПЗ}} \cdot e \quad (30)$$

Проверку несущей способности свай по грунту производим исходя из условия

$$\gamma_n \cdot N \leq \frac{F_d}{\gamma_{c,g}} \quad (31)$$

где N – расчетная нагрузка, передаваемая на сваю от наиболее невыгодного сочетания нагрузок, действующих на фундамент;

F_d – предельное сопротивление грунта основания одиночной сваи;

γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый по [5],

$\gamma_n = 1,0$;

$\gamma_{c,g}$ – коэффициент надежности по грунту,

$\gamma_{c,g} = 1,4$.

Согласно [6] несущую способность F_d , буронабивных свай, опирающихся на скальный грунт (свай-стойки), следует определять

$$F_d = \gamma_c \cdot R \cdot A \quad (32)$$

где γ_c – коэффициент условий работы свай в грунте,

$\gamma_c = 1,0$;

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки, кПа.

$$A = \pi r^2 \quad (33)$$

где A – площадь опирания на грунт сваи, м^2 .

Для определения R используют формулу

$$R = R_m = \frac{R_{c,m,n}}{\gamma_g} \quad (34)$$

где R_m – расчетное сопротивление массива скального грунта под нижним концом сваи-стойки, кПа;

$R_{c,m,n}$ – нормативное значение предела прочности на одноосное сжатие массива скального грунта в водонасыщенном состоянии, кПа,

$R_{c,m,n} = 33,7 \cdot 10^3$ кПа (ИГЭ№4);

γ_n – коэффициент надежности по грунту,

$\gamma_n = 1,4$.

Буронабивная свая заделана не менее чем на 0,5м в ИГЭ№4, характеристики которого приведены в таблице.

Таблица

Характеристики грунтов

Номер инженерно-геологического элемента	Номенклатурный вид грунта	Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов													Показатель текучести
		ρ^*	ρ^o	E^*	E^o	φ^*	φ^o	C^*	C^o	R_1	R_2	K_w	K_s	K_u	
		г/см³		МПа		Град.		кПа		МПа		д.е.			
				Sr<0.8		при Sr>0.8									
		Sr>0.8													
	ИГЭ-4 - Переслаивание мергеля и песчаника, средней прочности, плотные, слабоветрелые, размягчаемые	2,51	---	---	---	---	---	---	---	33,7	22,5	0,68	----	0,98	----

В исполнение требования [6], что R следует принимать не более 20000 кПа.

$$F_d = 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,283 = 5660 \text{ кН} = 577,16 \text{ тс};$$

$$F_d / \gamma_{c,g} = 577,16 / 1,4 = 412,26 \text{ тс}.$$

Собственный вес буронабивной сваи

$$P_{\text{ж.б.свая}}^H = 2,12 \text{ тс};$$

$$P_{\text{жб свая}}^P = \gamma_f \cdot P_{\text{жб свая}}^H \quad (35)$$

$$P_{\text{жб свая}}^P = 1,1 \cdot 2,12 = 2,33 \text{ тс}.$$

Согласно [6], расчетную нагрузку на сваю допускается определять по формуле

$$N = \frac{N_d}{n} \pm M_x \cdot \frac{y}{\sum y_i^2} \pm M_y \cdot \frac{x}{\sum x_i^2} \quad (36)$$

Без учета сейсмического воздействия

$$N_{\max} = \left(\frac{98,37}{2} + 2,33 \right) - (-107,87) \cdot \frac{1,1}{2,42} = 100,55 \text{ тс};$$

$$N_{\min} = \left(\frac{98,37}{2} + 2,33 \right) + (-107,87) \cdot \frac{1,1}{2,42} = 2,49 \text{ тс};$$

С учетом сейсмического воздействия

$$N_{\max} = \left(\frac{106,43}{2} + 2,33 \right) - (-121,95) \cdot \frac{1,1}{2,42} = 110,98 \text{ тс};$$

$$N_{\min} = \left(\frac{106,43}{2} + 2,33 \right) + (-121,95) \cdot \frac{1,1}{2,42} = 0,12 \text{ тс}.$$

Производим проверку несущей способности сваи по грунту

$$1,0 \cdot 100,55 \leq 412,26 \text{ – верно (без учета сейсмического воздействия);}$$

$$1,0 \cdot 110,98 \leq 412,26 \text{ – верно (с учетом сейсмического воздействия).}$$

Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующий вывод: несущая способность свай по грунту обеспечена, тем самым обеспечена устойчивость насыпи подхода земляного полотна в зоне сопряжения с мостовым сооружением с учетом сейсмической активности в стесненных горных условиях.

Библиографический список

1. СП 35.13330.2011 «СНиП 2.05.03-84 Мосты и трубы», приказ Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. № 822.
2. ГОСТ 32960-2014 «Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения» Протокол Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации от 30 сентября 2014 г. № 70-П.
3. СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81 Строительство в сейсмических районах», (Приказ Минстроя России от 24 мая 2018 г. № 309/пр), М.: Минстрой России, 2018 г.
4. СНКК 22-301-2000 «Строительство в сейсмических районах Краснодарского края», с 15 апреля 2001 года постановление главы администрации Краснодарского края от 4 апреля 2001 года № 244.
5. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований», (протокол от 14 ноября 2014 г. N 72-П) Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.
6. СП 24.13330.2021 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты», М.: Минстрой России, 2021 г.

References

1. SP 35.13330.2011 «SNiP 2.05.03-84 Bridges and Pipes», order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation (Ministry of Regional Development of Russia) dated December 28, 2010, № 822.
2. GOST 32960 2014 «Regulatory loads, design loading schemes» Protocol of the Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification dated September 30, 2014, № 70-P.
3. SP 14.13330.2018 «SNiP II-7-81 States in the seismic region», (Message of the Ministry of Russia dated May 24, 2018 № 309/pr), Moscow: Ministry of Russia, 2018.
4. SNCC 22-301-2000 «Construction in seismic areas of the Krasnodar Territory», from April 15, 2001, Resolution of the Head of the Administration of the Krasnodar Territory dated April 4, 2001 № 244.
5. GOST 27751-2014 «State Architectural Museum», (dated November 14, 2014 № 72-P) Interstate Council for Classification, Metrology and Certification.
6. SP 24.13330.2021 «SNiP 2.02.03-85 Pile foundations», Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2021.

*Воронежский государственный
технический университет*

Канд. техн. наук, доцент

О.А. Волокитина;

Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-349-72-56

e-mail: dixi.o@mail.ru

*Студент 6 курса Дорожно-
транспортного факультета*

К.Е. Кузнецова

Россия, г. Воронеж, тел. +7-904-538-22-36

e-mail: kristina.kuznetzova@gmail.com

*Студент 6 курса Дорожно-
транспортного факультета*

С.Л. Фенева

Россия, г. Воронеж, тел. +7-980-534-68-70

e-mail: sfeneval8@gmail.com

*Студент 6 курса Дорожно-
транспортного факультета*

В.С. Чекризова

Россия, г. Воронеж, тел. +7-901-092-04-48

e-mail: valeria.shevchenck0@yandex.ru

Voronezh State

Technical University

Cand. of Tech. Sciences, Associate prof.

O.A. Volokitina

Voronezh, Russia, tel. +7-910-349-72-56

e-mail: dixi.o@mail.ru

*Sixth year Student, Faculty of Roads and
Transport*

K.E. Kuznetsova

Voronezh, Russia, tel. +7-904-538-22-36

e-mail: kristina.kuznetzova@gmail.com

*Sixth year Student, Faculty of Roads and
Transport*

S.L. Feneva

Voronezh, Russia, tel. +7-980-534-68-70

e-mail: sfeneval8@gmail.com

*Sixth year Student, Faculty of Roads and
Transport*

V.S. Chekrizova

Voronezh, Russia, tel. +7-901-092-04-48

e-mail: valeria.shevchenck0@yandex.ru

О.А. Волокитина, К.Е. Кузнецова, С.Л. Фенева, В.С. Чекризова

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПЕЧАТИ В ДОРОЖНОМ ОБУСТРОЙСТВЕ И ИНФРАСТРУКТУРЕ

В статье рассматривается использование аддитивных технологий для создания элементов дорожной инфраструктуры. Анализируются основные материалы, технологические процессы, преимущества и недостатки 3D-печати.

Ключевые слова: 3D-печать, аддитивные технологии, дорожное строительство, дорожная инфраструктура, строительные материалы.

О.А. Volokitina, K.E. Kuznetsova, S.L. Feneva, V.S. Chekrizova

APPLICATION OF 3D PRINTING TECHNOLOGIES IN ROAD DEVELOPMENT AND INFRASTRUCTURE

The article examines the use of additive technologies for creating elements of road infrastructure. The main materials, technological processes, as well as the advantages and disadvantages of 3D printing are analyzed.

Keywords: 3D printing, additive technologies, road construction, road infrastructure, construction materials.

3D-печать – это процесс аддитивного производства, когда физический объект создаётся послойно из разнообразных материалов на основе цифровой модели.

В отличие от традиционных строительных методов, которые часто связаны с формированием и удалением лишнего материала, 3D-печать использует принцип "добавления". Это обеспечивает не только высокую точность, но и значительную экономию ресурсов.

В сфере дорожного строительства эта инновационная технология открывает широкие возможности для производства разнообразных инфраструктурных элементов, таких как бордюры, водоотводные лотки, элементы тротуаров и плитки, шумозащитные экраны, остановочные павильоны, скамейки и ограждения, мостовые конструкции.

Применение 3D-печати в дорожном строительстве подразумевает систематизированный подход к производству конструктивных элементов. Этот метод основан на аддитивном производстве, где материал наносится слоями в соответствии с предварительно созданной цифровой моделью. Процесс состоит из ряда взаимосвязанных стадий, каждая из которых критически важна для достижения требуемых эксплуатационных параметров конечного продукта.

Среди различных аддитивных технологий, применяемых в строительстве, наибольшее распространение получила экструзионная печать бетоном. При этом способе смесь подается через специальное сопло и укладывается последовательными слоями. Одним из главных преимуществ этой технологии перед традиционным строительством является возможность возводить конструкции без необходимости в опалубке.

Для 3D-печати в сфере дорожного строительства используются материалы, основными свойствами которых являются высокая устойчивость к деформации при перемешивании (тиксотропность) и способность быстро набирать необходимую прочность. К ним относят: модифицированные цементные смеси, фибробетон, геополимерные материалы, смеси с использованием вторичного сырья. Для автомобильных дорог важно, чтобы материал был морозостойким, водонепроницаемым и устойчивым к нагрузкам и истиранию.

Технологический процесс 3D печати:

Первый этап производственного цикла посвящён цифровому проектированию объекта с использованием передовых CAD- и BIM-платформ. В ходе этого процесса формируется детальная трёхмерная модель, интегрирующая геометрические характеристики, эксплуатационные требования и расчётные нагрузки. Аддитивное производство, в отличие от классических методов, предоставляет уникальную возможность реализации конструкций с высокой степенью сложности, включая внутренние каналы и топологически оптимизированные элементы.

На следующем этапе проводится детальный инженерный анализ. Целью данного этапа является определение ключевых прочностных и деформационных параметров проектируемого изделия. При этом критически важно учитывать анизотропию материала, возникающую вследствие его послойной структуры, а также гарантировать адекватную адгезию между слоями. Проводятся комплексные расчеты на различные виды нагрузок, включая сжатие, изгиб и сдвиг, а также оцениваются показатели морозостойкости и водонепроницаемости.

По завершении этапа проектирования осуществляется подготовка трёхмерной модели к аддитивному производству, известная как слайсинг. В ходе этого процесса цифровая модель сегментируется на дискретные горизонтальные слои, толщина которых обычно варьируется от 0.05 до 0.30 миллиметра. Параллельно с этим генерируется оптимальная траектория движения экструзионной головки, а также определяются ключевые параметры, такие как скорость подачи филамента и общие режимы печати. Итогом данной фазы является управляющий код для 3D-принтера.

Процесс печати в строительстве начинается с приготовления специальной бетонной или композитной смеси. Она должна быть достаточно пластичной для подачи через сопло и быстро твердеть, сохраняя форму. Состав смеси тщательно подбирается, иногда с добавлением химических присадок и волокон для улучшения свойств.

Затем настраивается оборудование: калибруется 3D-принтер, устанавливаются параметры печати (скорость, давление, диаметр сопла). Используются как стационарные, так и мобильные принтеры, способные работать прямо на стройплощадке.

Основной этап – это сама печать, когда материал послойно наносится, формируя конструкцию. Важно обеспечить равномерную подачу, точность геометрии и хорошее сцепление слоев. При необходимости в процессе печати может быть добавлено армирование.

После печати изделие твердеет, набирая прочность. Этот процесс может длиться от нескольких часов до месяца, иногда с применением увлажнения или термообработки.

Завершающий этап включает постобработку (устранение дефектов, нанесение покрытий) и монтаж готовых элементов на объекте или их использование на месте изготовления.

Преимущества 3D-печати:

1. Сокращение сроков строительства: 3D-печать позволяет автоматизировать процесс и выполнять работы быстрее на 30–50%, так как исключаются этапы установки опалубки и часть ручных операций.

2. Снижение трудозатрат: требуется меньше рабочих, так как основную работу выполняет принтер. Это особенно актуально при дефиците квалифицированного персонала.

3. Отсутствие опалубки: конструкция формируется сразу по цифровой модели, что снижает затраты на материалы и уменьшает отходы до 60%.

4. Экономия материалов. Материал подается точно, только в нужные зоны, что снижает перерасход.

5. Возможность сложной геометрии: можно создавать формы, которые сложно или невозможно реализовать традиционными методами (оптимизированные, ячеистые конструкции).

6. Экологичность: меньше строительного мусора, ниже транспортные затраты, возможно использование переработанных материалов.

7. Высокая точность: минимизация человеческого фактора и соответствие цифровой модели.

Недостатки:

1. Слоистая структура (анизотропия): прочность конструкции может быть ниже между слоями, чем в монолитном бетоне. Требуется введение поправочных коэффициентов.

2. Ограниченная нормативная база: на данный момент отсутствует полноценное регулирование (ГОСТ, СП), особенно для дорожного строительства.

3. Высокая стоимость оборудования: 3D-принтеры и их обслуживание требуют значительных инвестиций.

4. Требования к материалам: нужны специальные смеси – с высокой тиксотропностью и с быстрым набором прочности.

5. Ограничения по условиям строительства, так как на открытых площадках возможны проблемы в виде ветра, перепада температур, повышенной влажности.

6. Необходимость квалифицированных специалистов по BIM-моделированию, настройке оборудования и контролю качества.

7. Ограничения по размерам и масштабированию: крупные объекты требуют сложной организации печати или комбинированных технологий.

Причины развития технологий 3D-печати в дорожном строительстве кроются в прогрессе по нескольким направлениям: появлении передовых материалов (таких как геополимеры и биобетоны), формировании регуляторной базы, активном внедрении роботизированных решений и глубокой интеграции с BIM-технологиями. В результате этих усилий ожидается, что в ближайшие годы 3D-печать станет неотъемлемой частью «умной инфраструктуры», обеспечивая создание адаптивных и энергоэффективных объектов.

Перспективы развития дорожного строительства и инфраструктуры тесно связаны с внедрением аддитивных технологий, в частности 3D-печати. Данный подход обеспечивает потенциал для существенного роста производственной эффективности, снижения материаль-

ных затрат и расширения спектра архитектурных возможностей. Несмотря на наличие определенных ограничений, связанных с нормативно-правовой базой и требованиями к прочности, технология демонстрирует активную динамику развития и уже находит практическое применение на международном уровне. Масштабное внедрение в будущем будет определяться прогрессом в области материаловедения, разработкой соответствующих стандартов и формированием обширной базы практического опыта.

Библиографический список

1. [Электронный ресурс] – <https://softline.ru/about/blog/additivnye-tehnologii-3d-pechat-i-3d-printery-ot-a-do-ya#cto-takoe-3d-pechat.html>.
2. [Электронный ресурс] – <https://link.springer.com/article/10.1007/s42114-025-01456-1.html>.

References

1. [Electronic resource] – <https://softline.ru/about/blog/additivnye-tehnologii-3d-pechat-i-3d-printery-ot-a-do-ya#cto-takoe-3d-pechat.html>.
2. [Electronic resource] – <https://link.springer.com/article/10.1007/s42114-025-01456-1.html>.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ

УДК 625.72

Воронежский государственный

технический университет

Канд. техн. наук, доцент

О.А. Волокитина

Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-349-72-56

e-mail: dixi.o@mail.ru

*Студент 4 курса Дорожно-транспортного
факультета Д.Р. Бахметьев*

Россия, г. Воронеж, тел. +7(930) 420-06-64

e-mail: bakhmetev-danil@mail.ru

*Студент 4 курса Дорожно-транспортного
факультета В.А. Гелунов*

Россия, г. Воронеж, тел. +7(930) 406-79-15

e-mail: gelunov36@gmail.com

Voronezh State

Technical University

Cand. Of Tech. Science, Associate prof.

O.A. Volokitina

Russia, Voronezh, tel. +7-910-349-72-56

e-mail: dixi.o@mail.ru

*Fourth year student of the Faculty of Roads and
Transport D.R. Bakhmetev*

Russia, Voronezh, tel. +7(930) 420-06-64

e-mail: bakhmetev-danil@mail.ru

*Fourth year student of the Faculty of Roads
and Transport V.A. Gelunov*

Russia, Voronezh, tel. +7(930) 406-79-15

e-mail: gelunov36@gmail.com

О.А. Волокитина, Д.Р. Бахметьев, В.А. Гелунов

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕТКИ И ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ С УЧЁТОМ ПСИХОФИЗИОЛОГИИ ВОДИТЕЛЕЙ: СНИЖЕНИЕ АВАРИЙНОСТИ НА ОПАСНЫХ УЧАСТКАХ

В статье рассматривается проблема повышения безопасности дорожного движения на опасных участках путём оптимизации дорожной разметки и знаков с учётом психофизиологических особенностей водителей. Проведён анализ факторов восприятия визуальной информации, предложены практические рекомендации по проектированию элементов дорожной инфраструктуры. Показано, что учёт психофизиологии позволяет снизить аварийность на 15...25 % на проблемных участках.

Ключевые слова: дорожная безопасность, психофизиология водителя, дорожная разметка, дорожные знаки, восприятие информации, снижение аварийности.

O.A. Volokitina, D.R. Bakhmetev, V.A. Gelunov

OPTIMIZATION OF ROAD MARKINGS AND ROAD SIGNS TAKING INTO ACCOUNT THE PSYCHOPHYSIOLOGY OF DRIVERS: REDUCING ACCIDENTS IN DANGEROUS AREAS

The article discusses the problem of improving traffic safety in dangerous areas by optimizing road markings and signs, taking into account the psychophysiological characteristics of drivers. The article analyzes the factors of visual information perception and provides practical recommendations for designing road infrastructure elements. It is shown that taking into account psychophysiology can reduce accidents by 15...25% in problematic areas.

Keywords: road safety, driver psychophysiology, road markings, traffic signs, information perception, and accident reduction.

Аварийность на дорогах остаётся серьёзной проблемой: значительная часть ДТП происходит на опасных участках – крутых поворотах, перекрёстках, зонах ограниченной видимости. Традиционные методы повышения безопасности (увеличение количества знаков, усиление разметки) не всегда эффективны: перегруженность визуальной информации может привести к обратному эффекту – информационной перегрузке водителя.

Цель исследования – разработать рекомендации по оптимизации дорожной разметки и знаков на основе психофизиологических характеристик восприятия водителей для снижения аварийности на опасных участках.

Водитель воспринимает дорожную обстановку через зрительную систему, которая имеет определённые ограничения. Центральное зрение с углом обзора примерно $2-3^\circ$ обеспечивает чёткое восприятие деталей, в то время как периферическое зрение с охватом до 180° отвечает за обнаружение движущихся объектов. Поэтому крайне важно, чтобы дорожные знаки и разметка попадали в зону центрального зрения водителя заблаговременно, позволяя ему вовремя среагировать на изменения дорожной ситуации. Среднее время реакции водителя составляет от 0,7 до 1,5 с, а значит, информация должна быть не только воспринята, но и успешно обработана ещё до момента принятия решения. Что касается восприятия цвета, наилучшую различимость демонстрируют красный, жёлтый и зелёный цвета, тогда как синий и серый заметно уступают им, особенно в условиях сумерек или плохой освещённости. Контрастная чувствительность также играет важную роль: для комфортного и быстрого восприятия контраст между дорожным знаком или разметкой и окружающим фоном должен составлять не менее 70%. Кроме того, необходимо учитывать когнитивную нагрузку – водитель одновременно отслеживает множество объектов на дороге, и избыточное количество знаков может привести к рассеиванию внимания и снижению общей безопасности движения.



Рис. Восприятие дорожной информации водителем

На опасных участках дорог нередко возникают специфические проблемы, усугубляющие ситуацию. Во-первых, знаки порой устанавливаются на недостаточном расстоянии от потенциально опасного объекта, из-за чего водитель попросту не успевает отреагировать должным образом. Во-вторых, наблюдается перегруженность знаками, особенно на перекрёстках, где их количество может исчисляться десятками – это вызывает путаницу и затрудняет быстрое принятие решений. В-третьих, разметка нередко теряет читаемость из-за износа или загрязнения, становясь практически невидимой в дождливую погоду. В-четвёртых, расположение знаков бывает неудачным: их загораживают деревья, другие знаки или рекламные щиты, что делает информацию недоступной для водителя. Наконец, однотипность знаков –

использование одинаковых форм и цветов для разных типов предупреждений – снижает скорость их распознавания, вынуждая водителя тратить драгоценные секунды на анализ.

Для оптимизации дорожной инфраструктуры можно предложить ряд мер. Прежде всего, необходима адаптация к скорости движения: на участках с ограничением скорости свыше 90 км/ч знаки следует устанавливать на расстоянии 150...200 м до объекта, использовать увеличенные размеры знаков (на 20...30% больше стандартных) и дублировать важную информацию, сочетая знаки с соответствующей разметкой. Во-вторых, важно улучшить видимость элементов дорожной инфраструктуры: применять высококонтрастные цвета (например, жёлтый фон для предупреждающих знаков в зонах повышенной опасности), использовать микропризматические светоотражающие плёнки для знаков и наносить разметку с повышенным коэффициентом отражения. В-третьих, следует упростить информацию: минимизировать текст на знаках, отдавая предпочтение пиктограммам, группировать знаки по смысловым блокам и удалять избыточные знаки, оставляя только критически важные. В-четвёртых, нужно учитывать психофизиологические особенности водителей: для пожилых людей рекомендуется увеличить размер символов на 15...20%, избегать мелких деталей на знаках (они плохо воспринимаются на скорости) и внедрять динамические знаки с изменяемой информацией – например, предупреждающие о тумане при ухудшении видимости. Наконец, любые предлагаемые решения необходимо тестировать: проводить симуляционные тесты с участием водителей разных возрастных групп, моделировать сложные погодные условия и анализировать время реакции на разные типы знаков.

Оценка эффективности внедрения этих мер на тестовых участках, включающих крутые повороты и перекрёстки с высокой аварийностью, показала обнадеживающие результаты. В течение года удалось добиться снижения количества ДТП на 15...25%, сократить время реакции водителей на опасные ситуации на 20...30% и уменьшить число нарушений ПДД (таких как превышение скорости или игнорирование знаков) на 10...15%. С экономической точки зрения затраты на оптимизацию разметки и знаков окупаются в течение 2...3 лет за счёт снижения ущерба от дорожно-транспортных происшествий.

Таким образом, оптимизация дорожной разметки и знаков с учётом психофизиологии водителя действительно является эффективным способом снижения аварийности. Ключевыми направлениями остаются повышение видимости и контрастности элементов, адаптация к скорости движения и погодным условиям, упрощение и структурирование информации, а также учёт возрастных особенностей водителей

Библиографический список

1. [Нормативный документ] - ГОСТ Р 52289-2019 «Технические средства организации дорожного движения...».
2. [Нормативный документ] - ГОСТ Р 51256-2018 «Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная...».

References

1. [Normative document] - GOST R 52289-2019 «Technical Means of Road Traffic Management...».
2. [Normative document] - GOST R 51256-2018 «Technical means of traffic management. Road markings... ».

ФГБУ «ЦНИИП
Минстроя России»
Научный сотрудник В.О. Долгова
Москва, тел. +7-915-329-38-21
e-mail: dingo93@mail.ru

FSBI «Central Research and Design Institute
of the Ministry of Construction of Russia»
Researcher V.O. Dolgova,
Moscow, tel. +7-915-329-38-21
e-mail: dingo93@mail.ru

В.О. Долгова

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННОЙ НАРУШЕННОСТИ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДСКИХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И МОДЕЛЬ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И ГРАДОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В условиях урбанизации прибрежные территории городских водных объектов подвергаются антропогенной трансформации, приводящей к нарушению природных процессов и снижению экологической устойчивости. Разработана методика оценки степени антропогенной нарушенности, включающая классификационную шкалу, систему индикаторов и интегральный показатель. Предложена модель формирования прибрежных территорий, обеспечивающая переход от оценки состояния к выбору направлений градостроительных преобразований. Установлена взаимосвязь между уровнем нарушенности, функциональным зонированием и типами благоустройства. Методика может быть использована в задачах планирования и управления развитием прибрежных территорий в целях устойчивого развития и градоекологической безопасности.

Ключевые слова: антропогенная нарушенность, прибрежные территории, городские водные объекты, устойчивое развитие, градоекологическая безопасность, водно-зеленая инфраструктура, экологическая реабилитация, градостроительное планирование.

V.O. Dolgova

METHOD FOR ASSESSING ANTHROPOGENIC DISTURBANCE OF COASTAL TERRITORIES OF URBAN WATER BODIES AND A MODEL FOR THEIR FORMATION FOR THE PURPOSES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ECOLOGICAL SAFETY

In the context of urbanization, coastal areas of urban water bodies are subject to anthropogenic transformation, leading to the disruption of natural processes and a decline in environmental sustainability. A methodology for assessing the degree of anthropogenic disturbance has been developed, including a classification scale, a system of indicators, and an integral index. A model for the development of coastal areas is proposed, ensuring the transition from state assessment to the selection of urban planning transformation strategies. The relationship between the level of disturbance, functional zoning, and types of landscaping is established. The methodology can be applied in planning and management of coastal areas for sustainable development and urban ecological safety.

Keywords: anthropogenic disturbance, coastal areas, urban water bodies, sustainable development, urban ecological safety, blue-green infrastructure, ecological rehabilitation, urban planning.

Введение

В условиях современной урбанизации практически отсутствуют ландшафты, которые могут рассматриваться как полностью природные. Наиболее интенсивные процессы антропогенной трансформации наблюдаются в пределах прибрежных территорий городских водных объектов, которые исторически выступают зонами концентрации хозяйственной деятельности, транспортной инфраструктуры и рекреационного использования [1].

Это приводит к нарушению гидрологических режимов, деградации растительного покрова, снижению биоразнообразия и утрате способности водных объектов к самоочищению [2, 3].

Особенностью прибрежных территорий является их высокая уязвимость к совокупному воздействию природных и антропогенных факторов. Даже локальные вмешательства способны вызывать каскадные изменения, затрагивающие как водную экосистему, так и прилегающее городское пространство. В результате формируется широкий спектр состояний – от относительно сохраненных природных участков до полностью техногенно трансформированных территорий.

Несмотря на значительное количество исследований городской экологии и благоустройства, отсутствует унифицированный инструмент, позволяющий:

- оценивать степень антропогенной нарушенности прибрежных территорий;
- обеспечивать сопоставимость результатов между различными территориями;
- обосновывать проектные решения и приоритетность мероприятий экологической реабилитации.

Целью исследования является разработка методики оценки степени антропогенной нарушенности прибрежных территорий городских водных объектов, ориентированной на использование в задачах градостроительного планирования, экологической реабилитации и обеспечения градоэкологической безопасности.

Научная новизна исследования заключается в:

- формировании интегральной модели оценки антропогенной нарушенности, объединяющей экологические, гидрологические, пространственно-планировочные и историко-культурные параметры;
- разработке унифицированной системы индикаторов с количественной шкалой оценки;
- установлении функциональной взаимосвязи между уровнем нарушенности, типами функционального зонирования и направлениями преобразования прибрежных территорий;
- обеспечении перехода от диагностической оценки состояния территории к инструментарию принятия проектных и управленческих решений;
- в отличие от существующих подходов, методика интегрирует оценочный и проектный этапы;
- впервые предложена интеграционная модель, объединяющая количественную оценку антропогенной нарушенности с механизмами градостроительного проектирования.

Антропогенная трансформация прибрежных территорий приводит к изменению структуры и функционирования природных компонентов, включая растительный покров, почвы и гидрологические процессы. В этих условиях возникает необходимость дифференциации территорий по степени нарушенности, что позволяет учитывать глубину трансформаций и потенциал восстановления [4].

В работе предложена классификационная шкала уровней антропогенной нарушенности, основанная на градации прибрежных ландшафтов от состояний, близких к природным, до полностью техногенных. Выделено пять уровней: природно-антропогенные (культурные), умеренно нарушенные, значительно нарушенные, сильно трансформированные и сугубо антропогенные (техногенные) ландшафты. Каждая категория характеризуется степенью сохранности природных процессов, состоянием растительного покрова, особенностями гидрологического режима и уровнем инженерного вмешательства (Таблица 1).

Таблица 1

Уровни антропогенной нарушенности (составлена автором по [5-9])

Уровень нарушенности	Характеристика состояния природных процессов	Типичные признаки	Примеры участков
1. Природно-антропогенные (культурные) ландшафты	Природные процессы сохраняют доминирование; высокий потенциал самовосстановления; гидрологический режим близок к естественному; естественная растительность преобладает [5].	- естественные или мягкие берегоукрепления; - сохраненная прибрежная растительность; - высокая биота водоема; - низкая рекреационная нагрузка; - отсутствие значимых техногенных барьеров.	- природные откосы; - фрагменты пойменных участков в городской черте; - участки, сохранившие естественное русло и береговую линию.
2. Умеренно нарушенные ландшафты	Природные процессы продолжают функционировать, но существенно ослаблены; растительность частично нарушена; возможны эпизодические изменения гидрологического режима [6].	- частичное искусственное укрепление берегов; - замена части природной растительности декоративными видами; - локальные участки загрязнения; - умеренная рекреационная нагрузка; - незначительная фрагментация биотопов.	- благоустроенные набережные с сохранёнными зелёными фрагментами; - участки естественного берега с локальными инженерными вмешательствами; - прибрежные парковые территории.
3. Значительно нарушенные ландшафты	Существенное снижение интенсивности природных процессов; деградация водных и прибрежных экосистем; ослабление самоочищения; нарушение почвенного покрова; высокая фрагментация [7].	- жесткие берегоукрепления на значительной части береговой линии; - разорванный растительный покров; - уплотнение почв, эрозионные процессы; - загрязнение выше фоновых значений; - высокая рекреационная и транспортная нагрузка.	- участки набережных с бетонными откосами; - территории с высокой посещаемостью и вытоптанной растительностью; - зоны, прилегающие к транспортным магистралям.

Окончание таблицы 1

4. Сильно трансформированные ландшафты	Природные процессы функционируют эпизодически; водный объект утрачивает естественную динамику; растительность преимущественно искусственная либо отсутствует; инженерные сооружения определяют структуру территории [8].	- сплошное инженерное укрепление берегов; - искусственные насыпи и отсыпки, техногенные грунты; - разрывы гидрологической связи с водоемом; - высокая степень урбанизации; - отсутствие естественного почвенного покрова.	- промышленные зоны у воды; - полностью переустроенные городские набережные; - участки вдоль крупных инженерных сетей и транспортных коридоров.
5. Сугубо антропогенные (техногенные) ландшафты	Природные процессы полностью подавлены; водоём утратил природные функции; экосистемная динамика отсутствует; природный потенциал крайне низок [9].	- закрытые русла рек; - коллекторы и трубопроводы вместо открытого русла; - технические водоемы; - береговые линии, полностью сформированные искусственными материалами; - полное отсутствие прибрежной растительности.	- русла рек, заключенные в коллекторы; - отстойники и искусственные резервуары промышленных предприятий; - бетонные каналы без растительности.

Выделенные уровни антропогенной нарушенности формируют методическую основу для последующей балльной оценки, пространственной дифференциации прибрежных территорий и выбора адекватных мероприятий благоустройства и экологической реабилитации в рамках ландшафтно-экологической модели.

Применение шкалы нарушенности обеспечивает:

- унификацию описания состояния прибрежных территорий;
- дифференцированный подбор проектных решений;
- научную воспроизводимость и стандартизацию методики;
- обоснование приоритетности вмешательства;
- мониторинг эффективности благоустройства и адаптивного управления [10, 11].

Для обеспечения воспроизводимости оценки разработана система из 25 индикаторов, сгруппированных по четырем блокам:

- Экологические – состояние растительности, биоразнообразие, загрязнение воды и почвы, деградация почв, экосистемные связи;
- Пространственно-планировочные – степень застройки, берегоукрепления, транспортная сеть, фрагментация территорий, рекреационная нагрузка, промышленные зоны;
- Гидрологические – береговая линия, водообмен, русловые процессы, гидрологический режим, самоочищение, водный баланс;
- Историко-культурные – культурный ландшафт, объекты наследия, морфология береговой линии.

Такое структурирование позволяет учитывать многокомпонентный характер прибрежных территорий как сложных природно-градостроительных систем и обеспечивает комплексную оценку их состояния.

Каждый индикатор оценивается по четырехбалльной шкале:

0 – естественное состояние;

1 – умеренные нарушения;

2 – значительные нарушения;

3 – критические нарушения.

Выбор системы индикаторов оценки антропогенной нарушенности прибрежных территорий основан на комплексном подходе, учитывающем взаимосвязь природных и антропогенных компонентов городской среды. При формировании перечня индикаторов использованы положения исследований в области городской экологии, ландшафтной архитектуры и градостроительства, а также принципы оценки устойчивости экосистем и урбанизированных территорий [1-4, 10, 11].

Максимальная сумма баллов составляет 75, что позволяет формировать интегральный показатель антропогенной нарушенности, используемый для сопоставления территорий между собой (Таблица 2).

Таблица 2

Система индикаторов оценки антропогенной нарушенности
прибрежных территорий (составлена автором)

№	Группа	Индикатор	Балл (0...3)
1	Экол.	Состояние растительного покрова	
2	Экол.	Жизнеспособность древесно-кустарниковых сообществ	
3	Экол.	Разнообразие флоры и фауны	
4	Экол.	Инвазивные виды	
5	Экол.	Загрязнение воды	
6	Экол.	Загрязнение грунтов	
7	Экол.	Деградация почв	
8	Экол.	Экосистемные связи	
9	План.	Берегоукрепления	
10	План.	Застройка	
11	План.	Транспортная инфраструктура	
12	План.	Запечатанные поверхности	
13	План.	Фрагментация территорий	
14	План.	Зеленые коридоры	
15	План.	Рекреационная нагрузка	
16	План.	Промышленные зоны	
17	Гидро	Береговая линия	
18	Гидро	Водообмен	
19	Гидро	Русловые процессы	
20	Гидро	Гидрологический режим	
21	Гидро	Самоочищение	
22	Гидро	Водный баланс	
23	Ист.-культ.	Культурный ландшафт	
24	Ист.-культ.	Объекты наследия	
25	Ист.-культ.	Морфология береговой линии	

Сумма баллов по всем индикаторам формирует интегральный показатель антропогенной нарушенности, позволяющий определить уровень трансформации прибрежного ландшафта и сопоставить различные территории по единым критериям

Интегральный показатель антропогенной нарушенности (ИПАН) определяется как

$$\text{ИПАН} = \sum_{i=1}^{25} B_i$$

где B_i – балл по i -му индикатору из таблицы индикаторов (от 0 до 3);

25 – общее количество индикаторов (экологические, планировочные, гидрологические, историко-культурные);

Σ означает операцию суммирования.

Значение интегрального показателя варьируется в диапазоне от 0 до 75 баллов.

Каждый показатель отражает степень трансформации или нарушенности определенного аспекта прибрежной территории. Суммируя баллы, мы получаем общее числовое выражение антропогенного воздействия на территорию.

Далее, суммарный показатель сопоставляется с диапазонами уровней антропогенной нарушенности, что позволяет получить качественную характеристику состояния прибрежного ландшафта и определить меры для его реабилитации.

Диапазоны суммарных баллов сформированы на основе равномерного деления общего интервала возможных значений интегрального показателя (0–75 баллов) на пять уровней антропогенной нарушенности. Шаг интервала составляет 15 баллов, что обеспечивает логически последовательный переход между качественными состояниями прибрежных территорий – от близких к природным до техногенно трансформированных. Выбор равномерной шкалы обусловлен необходимостью обеспечения сопоставимости результатов оценки, их интерпретируемости и воспроизводимости при применении методики к различным территориям.

Интерпретация результатов оценки позволяет выявлять доминирующие факторы антропогенного воздействия, определять степень деградации природных процессов и оценивать потенциал территорий к восстановлению. Это создает предпосылки для перехода от диагностики состояния к обоснованию направлений преобразования.

Ключевым элементом методики является установление связи между уровнем антропогенной нарушенности и типами ландшафтно-экологического благоустройства. Для территорий с низким уровнем нарушенности приоритетным является сохранение существующих экосистем и применение мягких природо-ориентированных решений. Умеренно нарушенные территории требуют частичной рекультивации и формирования экологически устойчивой рекреационной инфраструктуры. Для значительно нарушенных участков необходимы комплексные восстановительные мероприятия, включая восстановление растительности и гидрологического режима. Сильно трансформированные и техногенные территории требуют проведения комплексной инженерно-экологической реабилитации и формирования новой водно-зеленой инфраструктуры.

Интегральный уровень антропогенной нарушенности определяется в соответствии с диапазонами суммарных баллов, полученных в результате балльной оценки, и используется в качестве критерия выбора типа и интенсивности ландшафтно-экологического благоустройства (Таблица 3).

Таблица 3

Соответствие уровней антропогенной нарушенности типам ландшафтно-экологического благоустройства (составлена автором)

Уровень нарушенности	Диапазон суммарных баллов	Характеристика состояния территории	Рекомендации по благоустройству
1 – природно-антропогенные	0...15	Территория близка к естественному состоянию; минимальные антропогенные воздействия	Сохранение существующих экосистем; мягкое рекреационное благоустройство; контроль доступа и локальная инфраструктура
2 – умеренно нарушенные	16...30	Умеренные трансформации экосистем, локальные деградации растительности и гидрологических условий	Частичная рекультивация растительности; создание экологических троп и зелёных буферных зон; контролируемое озеленение и благоустройство береговой линии
3 – значительно нарушенные	31...45	Существенные нарушения растительного и почвенного покрова, гидрологического режима, фрагментация природных территорий	Масштабная рекультивация и восстановление растительности; восстановление гидрологического режима; создание новых зелёных инфраструктурных элементов; экологическая реконструкция береговой линии
4 – сильно трансформированные	46...60	Территория подверглась интенсивным антропогенным воздействиям; экосистемные связи нарушены; растительность преимущественно искусственная	Комплексная инженерно-экологическая и ландшафтная реабилитация; кардинальная реконструкция территории; восстановление экосистемных связей
5 – сугубо антропогенные (критические)	61...75	Природные процессы полностью подавлены; водоём утратил природные функции; природный потенциал крайне низок	Полная реабилитация; восстановление экосистемных связей; формирование нового природно-градостроительного каркаса; создание многофункциональной зелёно-гидрологической инфраструктуры

Примечания:

1. Рекомендации по благоустройству могут комбинироваться в зависимости от специфики территории и локальных условий.

2. Для участков с критической нарушенностью (4,5) целесообразно разработка поэтапной программы восстановления с определением приоритетных мер по экологической, гидрологической и культурно-исторической составляющей.

3. Таблица позволяет интегрировать количественные данные оценки нарушенности с качественными характеристиками прибрежных территорий, обеспечивая основу для принятия управленческих и проектных решений.

В целях апробации предложенной методики выполнена оценка условного участка прибрежной территории городского водного объекта. Для демонстрации выбрана выборка индикаторов, отражающих различные группы факторов (экологические, планировочные и гидрологические) (Таблица 4).

Таблица 4

Пример расчета ИПАН (фрагмент системы индикаторов)

№	Индикатор	Группа	Балл (0...3)
1	Состояние растительного покрова	Экол.	2
2	Разнообразие флоры и фауны	Экол.	2
3	Загрязнение воды	Экол.	3
4	Берегоукрепления	План.	2
5	Транспортная инфраструктура	План.	2
6	Рекреационная нагрузка	План.	3
7	Фрагментация территорий	План.	2
8	Водообмен	Гидро	2
9	Гидрологический режим	Гидро	2
10	Самоочищение	Гидро	3

Суммарный балл

ИПАН = 2 + 2 + 3 + 2 + 2 + 3 + 2 + 2 + 2 + 3 = 23 балла.

С учетом полной системы из 25 индикаторов итоговый показатель для рассматриваемого участка может быть ориентировочно отнесен к диапазону 30...35 баллов, что соответствует 3 уровню антропогенной нарушенности (значительно нарушенные территории).

Интерпретация:

Для данного уровня характерны:

- существенная деградация растительности;
- нарушение гидрологического режима;
- высокая рекреационная и транспортная нагрузка.

Следовательно, для территории рекомендуется применение мероприятий комплексной экологической реабилитации, включая восстановление растительного покрова, оптимизацию водообмена и снижение антропогенной нагрузки.

Предложена модель формирования прибрежных территорий на основе оценки степени антропогенной нарушенности. Предложенная модель представляет собой интеграционную систему, обеспечивающую переход от количественной оценки степени антропогенной нарушенности к выбору пространственно-функциональной организации территории и определению направлений ее преобразования.

Обобщение взаимосвязи между уровнем антропогенной нарушенности, типами функционального зонирования и направлениями преобразования прибрежных территорий представлено в таблице 5.

Таблица 5

Модель формирования прибрежных территорий
на основе оценки степени антропогенной нарушенности (составлена автором)

Уровень нарушенности	Диапазон баллов	Тип функциональной зоны	Характер преобразования	Основные мероприятия	Инструменты реализации
1 – природно-антропогенные	0...15	Зона сохранения	Поддержание природного состояния	Охрана экосистем; ограничение антропогенной нагрузки; мягкое рекреационное освоение	Регламентация использования; экологический контроль; минимальное благоустройство
2 – умеренно нарушенные	16...30	Зона экологической стабилизации	Частичное восстановление природных компонентов	Озеленение; восстановление почв; формирование буферных зон; экологические тропы	Ландшафтное благоустройство; локальная рекультивация; природоориентированные решения
3 – значительно нарушенные	31...45	Зона комплексной реабилитации	Системное восстановление нарушенных территорий	Восстановление растительности и почв; снижение фрагментации; формирование водно-зеленых связей	Экологическая реконструкция; развитие водно-зеленой инфраструктуры
4 – сильно трансформированные	46...60	Зона градостроительной реконструкции	Трансформация функциональной структуры	Реконструкция застройки; снижение запечатанности; восстановление гидрологического режима	Градостроительное перепрофилирование; инженерные решения; ренатурализация
5 – техногенные	61...75	Зона приоритетной реабилитации	Комплексное переосвоение территории	Полная реабилитация; восстановление экосистемных связей; формирование нового природно-градостроительного каркаса	Инженерно-экологическая реабилитация; редевелопмент; создание водно-зеленого каркаса

Структурно модель включает три взаимосвязанных блока: диагностический, интерпретационный и проектный. Диагностический блок основан на расчете интегрального показателя антропогенной нарушенности, формируемого на основе системы индикаторов. Интерпретационный блок обеспечивает отнесение территории к соответствующему уровню нарушенности и типу функциональной зоны. Проектный блок определяет характер, направленность и интенсивность градостроительных и экологических мероприятий.

Предложенная модель может быть представлена в виде алгоритма оценки и принятия градостроительных решений, обеспечивающего последовательный переход от анализа состояния прибрежной территории к выбору направлений её преобразования.

Алгоритм включает последовательность этапов, отражающих логику функционирования модели. Алгоритм реализации модели представлен на рисунке.

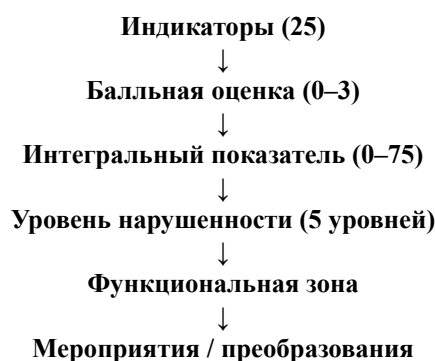


Рис. Алгоритмическая модель формирования прибрежных территорий на основе оценки антропогенной нарушенности

Представленный алгоритм обеспечивает формализованный переход от количественной оценки состояния территории к выбору обоснованных проектных решений.

Входным параметром модели является интегральный показатель антропогенной нарушенности, рассчитываемый по результатам балльной оценки. В качестве выходных параметров выступают тип функционального зонирования, направления преобразования территории, а также инструменты реализации проектных решений.

Логика функционирования модели основана на принципе градиентного изменения состояния территории: по мере увеличения интегрального показателя антропогенной нарушенности происходит переход от стратегий сохранения природного потенциала к стратегиям активной инженерно-экологической реабилитации и градостроительной реконструкции. При этом обеспечивается соответствие между степенью трансформации природных компонентов и интенсивностью вмешательства.

Важной особенностью модели является учет потенциала восстановления территории, который определяется совокупностью экологических, гидрологических и пространственных характеристик. Это позволяет дифференцировать проектные решения в пределах одного уровня нарушенности и формировать адаптивные сценарии преобразования прибрежных территорий.

Таким образом, модель обеспечивает не только классификацию состояния прибрежных территорий, но и формирует основу для принятия обоснованных градостроительных решений, интегрируя оценочные, аналитические и проектные процедуры в единую систему, что особенно важно в условиях необходимости обеспечения градоэкологической безопасности и устойчивого развития городов

Выводы

1. Разработана методика комплексной оценки антропогенной нарушенности прибрежных территорий городских водных объектов, включающая классификационную шкалу уровней нарушенности, систему индикаторов и балльную систему оценки.
2. Методика обеспечивает комплексный учет экологических, пространственно-планировочных, гидрологических и историко-культурных факторов, формирующих состояние территории.
3. Интегральный уровень нарушенности позволяет проводить пространственное зонирование, выбирать типы благоустройства и обосновывать меры экологической реабилитации.
4. Установлена взаимосвязь между уровнем нарушенности и направлениями градостроительных преобразований, что позволяет использовать методику как инструмент принятия решений.
5. Применение методики способствует повышению эффективности градоэкологического управления и обеспечивает научную основу для устойчивого развития прибрежных территорий городских водных объектов.
6. Разработанная алгоритмическая модель формирования прибрежных территорий на основе оценки антропогенной нарушенности позволяет интегрировать количественную диагностику состояния территории с проектным выбором мероприятий, обеспечивая научно обоснованное градостроительное планирование, экологическую реабилитацию и принятие управленческих решений с учётом устойчивого развития и градоэкологической безопасности.

Библиографический список

1. Горюнова С. В. Основные типы городских водоемов и возможные пути их инженерно-экологического обустройства // Вестник Московского городского педагогического университета. 2016. № 1. С. 40–49.
2. Глебова И. А., Хайрулина Т. П., Кузнецова Е. В., Медянкина М. В., Саитова Ф. Н. Оценка антропогенного воздействия на водные экосистемы при осуществлении рекреационного рыболовства // АгроЭкоИнфо. 2025. № 4. - URL: https://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/4/st_412.pdf (дата обращения: 26.03.2026).
3. Захаренко Е. Р. Антропогенное воздействие на природные экосистемы в Белгородской области: вызовы и последствия // Актуальные исследования. 2024. № 41 (223), ч. I. С. 27–32. - URL: <https://apni.ru/article/10197-antropogennoe-vozdeystvie-na-prirodnye-ekosistemy-v-belgorodskoj-oblasti-vyzovy-i-posledstviya> (дата обращения: 26.03.2026).
4. Наумов Ю. А. Антропогенная трансформация прибрежно-шельфовых геосистем окраинных морей Дальнего Востока : дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.36. Томск, 2008. 320 с.
5. Залеская Л. С., Микулина Е. М. Ландшафтная архитектура : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1979. 240 с.
6. Курочкина В. А. Водные объекты как основа организации открытых общественных пространств и инструмент трансформации урбосистем // Вестник Евразийской науки. 2020. Т. 12, № 5. С. 45.
7. Бондарев В. П., Долгушин Л. Д., Залогин В. С. Экологическое состояние территории России : учеб. пособие / под ред. С. А. Ушакова, Я. Г. Каца. М. : Академия, 2004. С. 13–16.
8. Техногенный ландшафт [Электронный ресурс]. - URL: <https://rudedesignshop.ru/blog/tehnogennyu-landshaft/> (дата обращения: 26.03.2026).
9. Салова Т. Ю., Громова Н. Ю. Техногенные системы и экологический риск // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 2-2. С. 295–296. - URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=6602> (дата обращения: 27.03.2026).

10. Ивашкина И. В., Кочуров Б. И. Экология градостроительства: исследования и инновационные методы // Архитектура и строительство России. 2022. № 4 (244). С. 22–25.
11. Ивашкина И. В., Кочуров Б. И. Урбоэкодиагностика и сбалансированное развитие Москвы : монография. М. : ИНФРА-М, 2018. С. 105–143.

References

1. Goryunova S.V. Main types of urban water bodies and possible ways of their engineering and ecological improvement / S.V. Goryunova // Bulletin of Moscow City Pedagogical University. – 2016. – №1. – P. 40–49.
2. Glebova I.A., Khairulina T.P., Kuznetsova E.V., Medyankina M.V., Saitova F.N. Assessment of anthropogenic impact on aquatic ecosystems during recreational fishing // Electronic Scientific and Production Journal “AgroEcoInfo”. – URL: https://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/4/st_412.pdf
3. Zakharenko E.R. Anthropogenic impact on natural ecosystems in Belgorod Region: challenges and consequences // Actual Research. – 2024. – №41(223), Part I. – P. 27–32. – URL: <https://apni.ru/article/10197-antropogennoe-vozhdejstvie-na-prirodnye-ekosistemy-v-belgorodskoj-oblasti-vyzovy-i-posledstviya> (accessed 26.03.2026)
4. Naumov Y.A. Anthropogenic transformation of coastal-shelf geosystems of the Far Eastern marginal seas: Doctor of Geographical Sciences dissertation / Y.A. Naumov; defended at Tomsk State University. – Tomsk, 2008. – 320 p.
5. Zaleskaya L.S., Mikulina E.M. Landscape Architecture [Textbook for universities in Architecture] – 2nd ed., revised and enlarged. – Moscow: Stroyizdat, 1979. – P. 13.
6. Kurochkina V.A. Water bodies as a basis for organizing open public spaces and a tool for urban system transformation // Bulletin of Eurasian Science, Mir Nauki Publishing, Moscow. – Vol.12, №5, 2020. – P. 45.
7. Bondarev V.P., Dolgushin L.D., Zalogin V.S. Ecological state of Russian territories: textbook for pedagogical universities / ed. S.A. Ushakov, Ya.G. Katz. – Moscow: Publishing Center “Academy”, 2004. – P. 13–16.
8. Technogenic landscape. – URL: https://rudesignshop.ru/blog/tehnogennyi-landshaft/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (accessed 26.03.2026)
9. Salova T.Yu., Gromova N.Yu. Technogenic systems and ecological risk // International Journal of Experimental Education, 2015, №2-2, P. 295–296. – URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=6602> (accessed 27.03.2026)
10. Ivashkina I.V., Kochurov B.I. Ecology of urban development: research and innovative methods / I.V. Ivashkina, B.I. Kochurov // Architecture and Construction of Russia. – 2022. – №4 (244), P. 22–25.
11. Ivashkina I.V., Kochurov B.I. Urbo-ecodiagnosics and balanced development of Moscow: monograph / I.V. Ivashkina, B.I. Kochurov. – Moscow: INFRA-M, 2018. – P. 105–143.

*Воронежский государственный
технический университет
Студент факультета инженерных систем
и сооружений Е.А. Логунова
Канд. техн. наук, доцент кафедры техно-
сферной и пожарной безопасности
Д.В. Каргашилов
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (473) 207-22-20
e-mail: eloguniova@cchgeu.ru*

*Voronezh State
Technical University
Student of the Faculty of Engineering Systems
and Structures E.A. Logunova
Ph.D (Engineering), Docent of the Department
of Technosphere and Fire Safety
D.V. Kargashilov
Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 207-22-20
e-mail: eloguniova@cchgeu.ru*

Е.А. Логунова, Д.В. Каргашилов

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ОПАСНОСТИ ПРИ ПОЖАРАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТЫХ АВТОСТОЯНОК И ПАРКИНГОВ

В работе рассматриваются особенности формирования и реализации факторов опасности при пожарах электрических транспортных средств в условиях закрытых автостоянок и паркингов. Установлено, что присутствие литий-ионных батарей меняет динамику возгорания, увеличивая термическую, токсическую нагрузку и взрывопожарную опасность. Проведено исследование, как закрытое пространство усугубляет распространение продуктов горения и повышает уровень угрозы для жизни и здоровья людей.

Ключевые слова: пожарная безопасность, электромобили, литий-ионный аккумулятор, тепловой разгон.

Е.А. Logunova, D.V. Kargashilov

ASSESSMENT OF HAZARD FACTORS IN CASE OF ELECTRICAL FIRES VEHICLES IN CLOSED CONDITIONS PARKING LOTS AND PARKING LOTS

The paper discusses the features of the formation and implementation of hazard factors in fires of electric vehicles in enclosed car parks and parking lots. It has been established that the presence of lithium-ion batteries changes the dynamics of combustion, increasing the thermal, toxic, and explosive hazards. The paper explores how enclosed spaces exacerbate the spread of combustion products and increase the risk to human life and health.

Keywords: fire safety, electric vehicles, lithium-ion accumulator, thermal acceleration.

В настоящее время наблюдается активное внедрение электромобилей, обусловленное стремлением к минимизации вредных выбросов и оптимизации энергопотребления. Наряду с этим, интеграция электрокаров порождает новые техногенные угрозы, нуждающиеся в детальном изучении с точки зрения безопасности техносферы и предотвращения пожаров.

Центральным элементом, определяющим уникальные риски электрических транспортных средств, являются литий-ионные батареи, характеризующиеся значительной энергоемкостью и подверженностью термическому разгону. Установлено, что пожары, связанные с такими системами, отличаются от возгораний обычных автомобилей как источником, так и характером развития, проявляясь в виде продолжительного горения, высоких температур и потенциала самовозгорания [1].

Особую значимость приобретает исследование пожаров электромобилей в условиях подземных паркингов и закрытых автостоянок. Ограниченная вентиляция, плотное скопление транспорта и особенности архитектуры помещений многократно усугубляют поражающие факторы. Несмотря на существующие работы, посвященные экологическим и противопожарным аспектам электромобилей, комплексная оценка рисков в замкнутых пространствах остается недостаточно изученной областью.

Тепловой разгон литий-ионных аккумуляторов, как основной фактор возникновения пожаров в электромобилях, представляет собой самоподдерживающуюся цепную реакцию, при которой температура стремительно растет, высвобождая огромное количество энергии. Этот процесс отличается от горения традиционных видов топлива тем, что обладает собственным источником тепловой энергии, что минимизирует его зависимость от поступления кислорода извне и затрудняет локализацию возгорания.

В очаге возгорания температура может достигать более 500 °С. В ходе этого процесса активно выделяются опасные для здоровья и окружающей среды горючие и ядовитые газы, такие как водород, угарный газ и фторсодержащие вещества. Эти продукты горения создают не только термическую, но и значительную химическую угрозу как для людей, так и для окружающей обстановки [2].

Факторы риска при возгорании электротранспорта разумно воспринимать как комплекс взаимообусловленных явлений, оказывающих комплексное влияние на людей и природу. Сводная информация по этим факторам приведена в таблице.

Таблица

Характеристика факторов опасности при пожарах электрических транспортных средств

Группа факторов	Основные проявления	Источник формирования	Особенности в условиях паркинга	Степень влияния
Термические	Высокая температура, тепловое излучение, нагрев конструкций	Тепловой разгон аккумулятора	Длительное сохранение температуры, нагрев соседних ТС	Высокая
Токсические	HF, CO, CO ₂ , органические соединения, твердые частицы	Разложение электролита и материалов батареи	Накопление в замкнутом объеме, рост концентраций	Критическая
Взрывопожароопасные	Выделение водорода, образование горючих смесей	Газообразные продукты реакции	Ограниченный объем способствует взрывоопасным концентрациям	Высокая
Эксплуатационные	Сложность доступа к очагу, длительное горение	Конструкция транспортного средства	Ограниченный доступ пожарных подразделений	Средняя
Экологические	Загрязнение воздуха, воды, почвы	Продукты горения и тушения	Концентрация загрязнений в ограниченном пространстве	Высокая

Ограниченное пространство замкнутых помещений кардинально меняет развитие пожаров и интенсивность поражающих факторов. Дефицит кислорода в таких условиях способствует скоплению продуктов горения, повышая их концентрацию и продлевая время воздействия на людей. В отличие от открытых территорий, где вредные вещества быстро рассеиваются, паркинги становятся очагом стойкой газовой среды с ярко выраженным поражающим эффектом.

Ключевым фактором является выделение фтористого водорода в результате распада электролитов литий-ионных батарей. Это вещество чрезвычайно ядовито и способно нанести серьезный ущерб дыхательной системе даже при невысоких концентрациях. Возгорание аккумулятора может привести к образованию обширных объемов опасных для здоровья человека токсичных соединений [1].

В замкнутых пространствах, таких как паркинги, помимо отравляющего воздействия, остро встает проблема взрыво- и пожароопасности. Выделяющийся в результате различных процессов водород способен формировать взрывоопасные смеси в значительном диапазоне концентраций. В присутствии источника возгорания это может спровоцировать резкое повышение давления, угрожающее целостности строительных конструкций [3].

Важную роль играет также взаимодействие транспортных средств в условиях ограниченного пространства. Плотное расположение автомобилей на парковках облегчает распространение огня на смежные транспортные средства, приводя к развитию цепных аварийных сценариев. Ситуация усугубляется в случае электротранспорта, поскольку последовательное возгорание аккумуляторных батарей, каждая из которых представляет собой отдельный источник энергии, значительно усложняет борьбу с пожаром.

Воздействие пожаров электромобилей на людей имеет комплексный характер, включая термическое, токсическое и психологическое воздействие. В закрытых пространствах, таких как автостоянки, токсический фактор, вызванный накоплением продуктов горения, становится наиболее значимым.

Предыдущие исследования показывают, что вредные вещества и неблагоприятные условия эксплуатации электромобилей могут серьезно влиять на здоровье человека, даже сокращая продолжительность жизни. Во время пожара эти эффекты многократно усиливаются из-за высокой концентрации токсичных веществ, быстро распространяющихся в ограниченном пространстве [4].

Психологический фактор также представляет серьезную угрозу, поскольку ограниченные возможности эвакуации и быстрое снижение видимости из-за дыма снижают эффективность действий людей и увеличивают время их пребывания в опасной зоне.

С точки зрения техносферы, пожары электромобилей оказывают существенное экологическое воздействие. Загрязнение воздуха, токсичные стоки при тушении и утилизация поврежденных аккумуляторов создают комплексную проблему, требующую системного решения. Последствия пожара могут иметь долгосрочное влияние на окружающую среду, выходящее за рамки локального инцидента [5].

Согласно проведенным исследованиям, возгорания электромобилей на закрытых автостоянках и в паркингах представляют более серьезную угрозу, чем пожары обычных автомобилей. Ключевую роль играют особенности литий-ионных батарей, влияющие на температурный режим, состав выделяемых при горении веществ и скорость распространения огня.

В условиях ограниченного пространства значительно возрастает концентрация токсичных веществ и повышается риск взрыва, что ставит под угрозу жизни людей и затрудняет тушение. Эти опасности носят многофакторный характер, требуя одновременного учета характеристик самого транспортного средства и параметров окружающей среды.

Выявленные закономерности подчеркивают насущную потребность в совершенствовании научных методов оценки рисков при пожарах электромобилей. Это также диктует необходимость разработки новых стандартов безопасности для объектов транспортной инфраструктуры, учитывающих специфику эксплуатации и хранения электротранспорта.

Библиографический список

1. Логунова, Е. А. Анализ экологической и пожарной безопасности электромобилей на протяжении всего жизненного цикла / Е. А. Логунова, Д. В. Каргашилов, Н. С. Жидких // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2025. – № 2(33). – С. 100-107. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.011. – EDN QFADSB.
2. Логунова, Е. А. пожарная безопасность электрических грузовых автомобилей / Е. А. Логунова, Д. В. Каргашилов, Д. С. Мацокин // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2025. – № 1. – С. 227-229. – EDN EQQABT.
3. Логунова, Е. А. Пожарная безопасность электробусов в России: проблемы эксплуатации и лучшие международные практики / Е. А. Логунова, Д. В. Каргашилов // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2025. – № 2. – С. 144-147. – EDN WYRJYP.
4. Оценка влияния негативных факторов на водителя строительного автомобиля-самосвала с электрической силовой установкой / В. А. Жулай, Е. И. Головина, Н. С. Жидких, Е. А. Логунова // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации : Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, Омск, 23–24 ноября 2023 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2023. – С. 385-389. – EDN GJSVLS.
5. Логунова, Е. А. Анализ рисков возникновения пожаров в аккумуляторных батареях строительной электротехники / Е. А. Логунова, Д. В. Каргашилов // Научная опора Воронежской области : Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. – Воронеж : ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2025. – С. 33-35. – EDN IKKDTL.

References

1. Logunova, E. A. Analysis of the Environmental and Fire Safety of Electric Vehicles throughout the Life Cycle / E. A. Logunova, D. V. Kargashilov, and N. S. Zhidkikh // Housing and Public Utilities. – 2025. – No. 2(33). – Pp. 100-107. – DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.011. – EDN QFADSB.
2. Logunova, E. A. Fire Safety of Electric Trucks / E. A. Logunova, D. V. Kargashilov, D. S. Matsokin // High technologies in the construction complex. – 2025. – No. 1. – Pp. 227-229. – EDN EQQABT.
3. Logunova, E. A. Fire safety of electric buses in Russia: problems of operation and the best international practices / E. A. Logunova, D. V. Kargashilov // High technologies in the construction complex. – 2025. – No. 2. – Pp. 144-147. – EDN WYRJYP.
4. Assessment of the impact of negative factors on the driver of a dump truck with an electric power plant / V. A. Zhulai, E. I. Golovina, N. S. Zhidkikh, E. A. Logunova // Architectural, construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations : Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference, Omsk, November 23-24, 2023. – Omsk: Siberian State Automobile and Road University (SibADI), 2023. – Pp. 385-389. – EDN GJSVLS.
5. Logunova, E. A. Analysis of the Risks of Fires in Construction Electrical Equipment Batteries / E. A. Logunova, D. V. Kargashilov // Scientific Support of the Voronezh Region : Collection of Papers by the Winners of the Contest of Research Papers by Students and Postgraduate Students of VGTU in Priority Areas of Science and Technology Development. – Voronezh: Voronezh State Technical University, 2025. – Pp. 33-35. – EDN IKKDTL.

*Воронежский государственный
Технический университет
Канд. Тех. наук, доцент кафедры
строительной техники и инженерной
механики имени профессора Н. А. Ульянова
С.А. Никитин;
Студенты дорожно-транспортного
Факультета гр. АТ-221
А. Е. Горбачев, Н. С. Смирнов.
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 277-01-29
e-mail: niksai76@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University
D.Sc. (Engineering), Associate prof. of the chair
construction machinery and engineering me-
chanics of a name of professor N. A. Ulyanov
S.A. Nikitin;
Students of the Faculty of Road Transport Fac-
ulty gr. AT-221
A. E. Gorbachev, N. S. Smirnov.
Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 2-77-01-29
e-mail: niksai76@mail.ru*

С.А. Никитин, А.Е. Горбачев, Н.С. Смирнов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКЛАДА ИСТОЧНИКОВ ШУМА В ОБЩЕЕ ЗВУКОВОЕ ПОЛЕ КАБИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

В статье представлена методика определения вклада различных источников шума в общее звуковое поле кабины технологической машины. Проведен детальный анализ основных источников шума в кабине шнекороторной снегоочистительной машины, включая двигатель, коробку передач, мосты, раздаточный редуктор и рабочий орган. Разработана математическая модель расчета уровней звукового давления с учетом особенностей распространения звука в кабине. Предложенная методика позволяет на ранней стадии проектирования прогнозировать уровни шума в кабине и оптимизировать компоновку основных узлов машины. Результаты расчетов показали, что расчетный уровень звука в кабине составляет 79,4 дБА, что на 3,9 дБА ниже фактического значения.

Ключевые слова: Шумовые характеристики, технологические машины, кабина оператора, источники шума, звуковое поле, акустический расчет, снегоочистительная машина, уровень звука, звукоизоляция, методика расчета.

S.A. Nikitin, A.E. Gorbachev, N.S. Smirnov

DETERMINATION OF NOISE SOURCES CONTRIBUTION TO THE TOTAL SOUND FIELD IN THE CABIN OF A TECHNOLOGICAL MACHINE

The article presents a methodology for determining the contribution of various noise sources to the total sound field in the cabin of a technological machine. A detailed analysis of the main noise sources in the cabin of a screw-type snow blower is conducted, including the engine, gearbox, axles, transfer case, and working unit. A mathematical model for calculating sound pressure levels is developed, taking into account the peculiarities of sound propagation in the cabin. The proposed methodology allows predicting noise levels in the cabin at an early design stage and optimizing the layout of the machine's main components. Calculation results show that the estimated sound level in the cabin is 79.4 dBA, which is 3.9 dBA lower than the actual value.

Keywords: Noise characteristics, technological machines, operator cabin, noise sources, sound field, acoustic calculation, snow blower, sound level, sound insulation, calculation methodology.

Источники звука дорожно-строительных машин работают на различных режимах, а, следовательно, излучаемый шум имеет стохастический характер. Поэтому расчеты выполняются при допущениях, обусловленных, в первую очередь, неучетом волновой природы звука в диапазоне частот 63...8000 Гц.

В расчетах принимается акустическая мощность источника функцией от частоты или используются значения эквивалентной звуковой мощности.

Реальные источники звука – колебательные системы сложной формы. Расчет таких излучателей затруднен, поэтому все источники звука принимаются идеализированными излучателями звука простой формы (точечными, линейными, плоскими) или набором из таких излучателей. В расчетах принимается условие, что если источники расположены на расстоянии $R > \lambda / 6$, то они некогерентны. При этом суммарный уровень звука источников определяется энергетическим суммированием [1, 2]

$$L_{общ} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i}, \quad (1)$$

где $L_{общ}$ – суммарный уровень звука, дБА;

n – число источников звука;

L_i – уровень звука i -го источника шума, дБА.

Уровень звуковой мощности источника является основной акустической характеристикой, используемой при расчетах. Акустическая мощность, W источника не зависит от параметров объекта и характеризует только этот источник, то есть все акустические расчеты выполняются в предположении, что $W = const$.

Анализ литературных источников показывает, что источники звука являются излучателями сферических, цилиндрических или плоских волн в зависимости от размера излучателя, длины звуковой волны и расстояния от источника до расчетной точки. При этом элементы шумозащитных конструкций (ребра акустического экрана, проемы, щели, отверстия, стенки капота и т.п.) принимаются в качестве вторичных излучателей звука. Наличие резонансных явлений расчетами не учитываются. Граница частоты f_n , с которой начинается расчет, определяется выражением

$$f_n = \frac{200}{\sqrt[3]{V}}, \quad (2)$$

где f_n – частота начальных колебаний расчетного объема, Гц;

V – расчетный объем кабины, м³.

Из выражения (1.2) следует, что для малых объемов (в том числе и кабин операторов специальных дорожно-строительных машин), где $V = 3...5$ м³ возможны расчеты ожидаемой шумности с октавной полосы 250 Гц [1].

Для составления итоговой формулы, определяющей уровень звука в кабине шнекороторной снегоочистительной машины, была составлена схема распространения акустической энергии, представленная на рисунке.

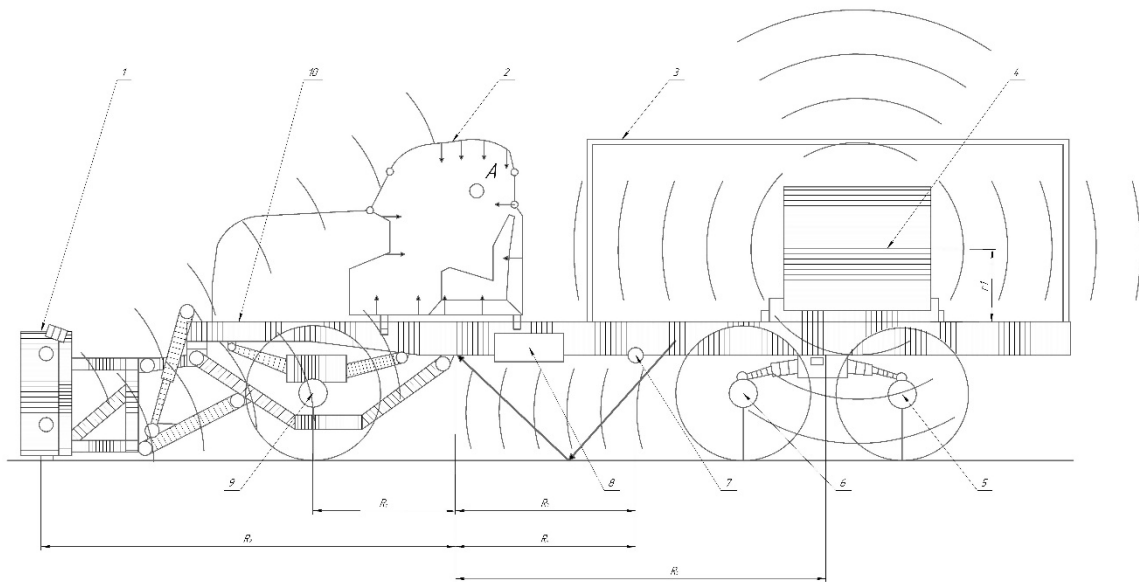


Рис. Схема распространения акустической энергии в технологической машине

Шум в кабине технологических машин шнекороторных снегоочистительных в основном формируется:

1. Шумом двигателя, проникающим через капот и стенки кабины
2. Шумами двигателя, коробки передач, мостов, раздаточного редуктора, отраженным от поверхности и проникающим через пол кабины.
3. Шумом выхлопа двигателя внутреннего сгорания.
4. Шумами коробки передач и раздаточного редуктора, расположенных под кабиной машины.
5. Шумом переднего моста.
6. Шумом, возникающим на рабочем органе при выполнении технологических операций.

Значение уровня звука в кабине L_1 , дБ, образованного шумом, проникающим от двигателя через его капот, определяется выражением

$$L_1 = L_{\text{шддв}} + 10 \lg \left(\frac{\chi_{\text{кап}}}{S_{\text{кап.общ}}} + \frac{4\psi_{\text{кап}}}{B_{\text{каб}}} \right) + 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{кан } i}}{S_{\text{кан}}} - 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^m S_{\text{кан } i}}{\sum_{i=1}^m S_{\text{кан } i} 10^{-0,1(3I_{\text{кан.}i} + t_{\text{кан}})}} -$$

$$- 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^m S_{\text{кан } i}}{\sum_{i=1}^m S_{\text{кан } i} 10^{-0,1(3I_{\text{кан.}i} + t_{\text{дифр}}^{\text{каб}})}} + 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{каб } i}}{A_{\text{каб}}} + 6, \quad (3)$$

где $L_{\text{шддв}}$ – звуковая мощность двигателя, дБ (берется из справочных данных [4, 5, 6]);
 $\chi_{\text{кап}}$ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего звукового поля источника и равен 1;
 $\psi_{\text{кап}}$ – коэффициент неравномерности звукового поля под капотом. Принимаем $\psi_{\text{кап}} = 0,5$;
 $B_{\text{каб}}$ – постоянная кабины, м^2 ;
 $S_{\text{кап}}$ – площадь капота, м^2 ; $S_{\text{кан}} = 7,52 \text{ м}^2$;
 $A_{\text{каб}}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения кабины, м^2 ;

$$A_{\text{каб}} = \overline{a_{\text{каб}}} S_{\text{каб}}, \quad (4)$$

где $\overline{a_{\text{каб}}}$ – средний коэффициент звукопоглощения кабины;
 n – число элементов ограждения кабины. Принимаем $n = 6$.

$$\overline{3I_i^{\text{каб}}} = 10 \lg \frac{S_{\text{каб}}}{\sum_{j=1}^m S_j \cdot 10^{0,13I_j}}, \quad (5)$$

где $\overline{3I_i^{\text{каб}}}$ – усредненная звукоизоляция i -й ограждающей конструкции кабины, дБ;

$ЗИ_j$ – звукоизоляция, дБ, j -го элемента ограждения площадью S_j , м²;
 m – число элементов ограждения с различной звукоизоляцией на i -й ограждающей конструкции.

Средние значения коэффициента звукопоглощения представлены в таблице.

Таблица

Средние значения коэффициента звукопоглощения,
 $\overline{a}_{каб}$ кабин операторов дорожных машин

Значение $\overline{a}_{каб}$ в октавных полосах частот	Частота f , Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Без звукопоглощения	0,05	0,08	0,15	0,2	0,2	0,15	0,2	0,4
Со звукопоглощением	0,1	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6

Для частоты $f \leq f_{гр}$, звукоизоляцию определяем по формуле

$$ЗИ = 20 \lg(Mf) - 60, \quad (6)$$

$$M = p_m h_m + p_n h_n + p_o h_o, \quad (7)$$

где p_m, h_m – удельный вес и толщина основного материала соответственно;

p_n, h_n – то же наносимого покрытия;

p_o, h_o – то же внутренней облицовки [3, 4];

f – октавная частота, Гц.

Для значений $f > 0,5f_{зр}$ звукоизоляция определяется так [3, 4]

$$ЗИ = 20 \lg \left(\frac{\pi f M}{p c} \right) + 5 \lg \frac{f}{f_{зр}} + L_g \eta + 3, \quad (8)$$

где η – коэффициент потерь, характеризующий внутренние потери в ограждении (принимается $\eta = 0,25$ [1, 3, 4]).

Граничная частота для стекла толщиной 3 мм, $f_{зр} = 3354$ Гц. Для стен $f_{зр} = 136$ Гц [1, 3, 4].

Производим расчет уровня звука в октавных полосах частот. Уровни звука в кабине определяем методом энергетического суммирования с коррекцией по А.

В результате вычислений $L_1 = 77,2$ дБ А.

Значение уровня звука в кабине, образованного при отражении звука двигателя, коробки передач, редуктора, мостов от поверхности движения определяются выражением [3, 4, 6]

$$L_2 = L_{wdкпр} + 10 \lg \left(\frac{r_{кан}}{2\pi r_1^2} + \frac{4\psi_{кан}}{B_{каб}} \right) + 10 \lg(1 - \alpha_{пол}) - 20 \lg R_5 - \overline{ЗИ}_{пол} + 10 \lg \frac{S_{каб}}{A_{каб}} - 10, \quad (9)$$

где $L_{wdкпр}$ – уровень звуковой мощности источников, дБ.

r_1 – расстояние от источника шума до проема в капоте, $r_1 = 0,8$ м;

$\alpha_{пол}$ – коэффициент звукопоглощения отражающей поверхности (принимается $\alpha_{пол} = 0,05$ [3, 4]);

R_5 – расстояние между центром проема и пола соответственно. $R_5 = 2,75$ м;

$\overline{ЗИ}_{пол}$ – средняя звукоизоляция пола кабины, дБ ;

$S_{каб}$ – площадь кабины, м². В нашем случае $S_{каб} = 4,39$ м².

$$B_n = \frac{\sum \alpha_i^f S_i}{(1 - \bar{\alpha}_n^f)}, \quad (10)$$

$$\bar{\alpha}_n^f = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i^f S_i}{S_n}, \quad (11)$$

где α_i^f – частотно-зависимый коэффициент звукопоглощения i -й ограждающей конструкции S_i м²;
 $\bar{\alpha}_n^f$ – частотно-зависимый коэффициент звукопоглощения в помещении [3, 4];
 $S_{ном}$ – суммарная площадь ограждающих поверхностей кабины, м².

В результате расчетов $L_2 = 73,4$ дБА.

Значения уровней звука в кабине, образованных шумом выхлопа двигателя внутреннего сгорания, определяются выражением [3, 4, 5, 6]

$$L_3 = L_{w_{вых}} + 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0.1(3\overline{II}_i^{каб} + 10 \lg \beta_i)} - 20 \lg R_4 + 10 \lg \frac{S_{каб}}{A_{каб}} - 10 \lg \Omega_{вых} + 6, \quad (12)$$

где $L_{w_{вых}}$ – звуковая мощность выхлопа двигателя внутреннего сгорания, дБ;
 R_4 – расстояние от среза выхлопной трубы до близкорасположенной поверхности. $R_4 = 0,8$ м;
 $\Omega_{вых}$ – пространственный угол излучения звука источником. Принимаем $\Omega_{вых} = 4\pi$.

В результате расчета $L_3 = 68,5$ дБА.

Значения уровней звука в кабине, образованных шумом коробки передач и раздаточного редуктора, расположенных под кабиной шнекороторной снегоочистительной машины и проникающем через пол кабины, определяются выражением

$$L_4 = L_{w_{кк.ред}} - 10 \lg R_3 - \overline{3II}_{пол} + 10 \lg \frac{S_{пол}}{A_{каб}} - 5, \quad (13)$$

где $L_{w_{кк.ред}}$ – звуковая мощность, излучаемая коробкой передач, раздаточным редуктором, расположенными под кабиной, дБ;
 R_3 – расстояние от коробки передач и редуктора пола. $R_3 = 0,25$ м;
 $\overline{3II}_{пол}$ – средняя звукоизоляция пола кабины, дБ.

В результате расчетов $L_4 = 72,6$ дБА.

Уровень звука в кабине, образованный шумом привода переднего моста, определяется выражением

$$L_5 = L_{w_{мнм}} + 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0.1(3\overline{II}_i^{каб} + 10 \lg \beta_i)} - 20 \lg R_1 + 10 \lg \frac{S_{каб}}{A_{каб}} - 10 \lg \Omega_{мнм} + 6, \quad (14)$$

где $L_{w_{мнм}}$ – звуковая мощность привода переднего моста;
 R_1 – расстояние от источника шума до близкорасположенной поверхности, $R_1 = 1,15$ м.

В результате расчетов $L_5 = 67,3$ дБА.

Значение уровня звука в кабине, образованного шумом при взаимодействии рабочего органа со снегом, определяются выражением

$$L_6 = L_{w_{пра.орг}} + 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0.1(3\overline{II}_i^{каб} + 10 \lg \beta_i)} - 20 \lg R_2 + 10 \lg \frac{S_{каб}}{A_{каб}} - 10 \lg \Omega_{раб.орг} + 6, \quad (15)$$

где $L_{w_{пра.орг}}$ – звуковая мощность на рабочем органе, дБ;
 $\overline{3II}_{каб}$ – усредненная звукоизоляция i -й ограждающей конструкции кабины, дБ;
 β_i – коэффициент дифракции звука на i -й ограждающей конструкции кабины;
 R_2 – расстояние от рабочего органа до близкорасположенной поверхности, $R_2 = 1,95$ м;
 $S_{каб}$ – площадь кабины, м². $S_{каб} = 4,39$ м²;
 $A_{каб}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения кабины, м²;
 $\Omega_{раб.орг}$ – пространственный угол излучения звука источником. В нашем случае принимаем $\Omega_{раб.орг} = 2\pi$.

В результате вычислений $L_6 = 65,1$ дБА.

Воспользуемся выражением (16) и определим общий шум в кабине, $L_{общ.}$, дБА снегоочистительной машины шнекороторного типа

$$L_{общ.} = 10 \lg(10^{0.1L_1} + 10^{0.1L_2} + 10^{0.1L_3} + 10^{0.1L_4} + 10^{0.1L_5} + 10^{0.1L_6}), \quad (16)$$

где L_1 – уровень шума двигателя, проникающий через капот и стенки кабины, $L_1 = 77,2$ дБА;

L_2 – уровень шума двигателя, коробки передач, мостов, раздаточного редуктора, отраженный от поверхности и проникающий через пол кабины, $L_2 = 73,4$ дБА;

L_3 – уровень шума выхлопа двигателя внутреннего сгорания, $L_3 = 68,5$ дБА;

L_4 – уровень шума коробки передач и раздаточного редуктора, расположенных под кабиной машины, $L_4 = 72,6$ дБА;

L_5 – уровень шума привода переднего моста, $L_5 = 67,3$ дБА;

L_6 – уровень шума возникающим на рабочем органе при выполнении технологических операций, $L_6 = 65,1$ дБА.

В результате суммирования по (16) получаем: $L_{общ.} = 79,4$ дБА.

Выводы

1. Предложенный расчет по уточненной методике шума дорожной снегоочистительной машины шнекороторного типа на ранней стадии проектирования, позволяет прогнозировать уровни звукового давления и эквивалентные уровни звука в кабине, так как учитывает основные источники шума машины, пути распространения звуковой волны в зависимости от компоновочной схемы: расчетный уровень звука в кабине по уточненной методике составил 79,4 дБА, что на 3,9 дБА ниже действительного уровня шума.

2. Данная методика, с точки зрения снижения акустических характеристик в кабине дорожной машины, позволяет уточнить компоновку основных узлов и агрегатов, что особенно актуально на ранней стадии проектирования машины в целом.

Библиографический список

1. Устинов Ю.Ф., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Дуплищев С.М., Кравченко А.А., Никитин С.А., Покачалов А.С. Методология прогнозирования виброакустических параметров тяговых машин. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2003. № 9. С. 121-124.
2. Волков Н.М., Дёгтев Д.Н., Никитин С.А., Труфанов М.С., Радченко И.С. Экспериментальные результаты акустических испытаний колесного погрузчика ПК 27-02./Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2013. № 1. С. 125-127.
3. Устинов Ю.Ф., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Никитин С.А. Сравнение результатов виброакустических исследований на дорожной шнекороторной снегоочистительной машине типа ДЭ-210./ Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2010. № 1. С. 223-225.
4. Никитин С.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Воропаев В.О., Воронов А.С. Численные исследования быстропеременных виброакустических процессов при помощи метода конечных элементов. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2013. № 1. С. 154-159.
5. В.П. Воищев, И.Г. Корнилов, А.А. Мартынов, К.С. Лещенко, Д.Д. Толстов. Актуальные вопросы защиты от шума и вибрации операторов строительных и дорожных машин. Научно-технический журнал Воронежского государственного технического университета. Серия: Высокие технологии в строительном комплексе. 2021. № 1. С. 51-57.
6. Жулай В.А., Енин В.И. Спектральный анализ виброакустического сигнала зубчатой передачи // Вестник машиностроения. 2007. №1. С. 31-33.

References

1. Ustinov Y. F., N.M. Volkov, Degtev D.N, Duplishev S.M, A.A. Kravchenko, S.A. Nikitin, A.S. Pokachalov. Methodology for predicting vibro-acoustic parameters of traction machines. News of higher educational institutions. Construction. 2003. Number 9. S. 121-124.
2. Volkov N.M., Degtev D.N., Nikitin S.A., Trufanov M.S., Radchenko I.S. Experimental results of acoustic tests of wheel loader PC 27-02 / Scientific Newsletter Of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering High-tech solutions. Ecology. 2013. № 1. P. 125-127.
3. Ustinov Y.F., Nikitin S.A., Volkov N.M., Degtev D.N. Comparison of vibroacoustic research results in screw-rotary snow remover, model DE-210./Scientific Newsletter Of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering High-tech solutions. Ecology. 2010. № 1. P. 223-225.
4. S.A. Nikitin, N.M. Volkov, D.N. Degtev, V.O. Voropaev, A.S. Voronov. Numerical research of a rapidly varying vibroacoustic processes using the finite element method. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Construction. Series: High Technologies. Ecology. 2013. pp. 154-159.
5. V.P. Voishchev, I.G. Kornilov, A.A. Martynov, K.S. Leshchenko, D.D. Tolstov. Topical issues in protection against noise and vibration of construction and road machine operators. Scientific and Technical Journal of Voronezh State Technical University. Series: High technologies in the construction complex. 2021. pp. 51-57.
6. Zhulai V.A., Enin V.I. Spectral analysis of vibroacoustic signal of gear transmission // Bulletin of Mechanical Engineering. 2007. No. 1. P. 31-33.

*Тульский государственный университет
Ассистент кафедры Транспортно-
технологические машины и процессы
А.В. Отрохов
Россия, г. Тула, тел. +7(903) 697-44-58
e-mail: cosmonavt4458@yandex.ru*

*Tula State University
Assistant of the Transport and Technological
Machines and Processes Dept.
A.V. Otrokhov
Russia, Tula, tel. +7(903) 697-44-58
e-mail: cosmonavt4458@yandex.ru*

А.В. Отрохов

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ДОРОГАХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

В публикации рассмотрены вопросы интеграции высокоавтоматизированных транспортных средств в систему дорожного движения с позиции обеспечения безопасности дорожного движения. Выявлены существующие противоречия между развитием беспилотных технологий и готовностью существующего транспортного комплекса к их внедрению.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, беспилотные транспортные средства, автомобильные дороги.

A.V. Otrokhov

ROAD SAFETY IN THE OPERATION OF UNMANNED VEHICLES ON PUBLIC ROADS

The publication discusses the integration of highly automated vehicles into the traffic system from the perspective of road safety. It identifies the existing contradictions between the development of unmanned technologies and the readiness of the existing transport system to implement them.

Keywords: road safety, unmanned vehicles, and highways.

Современный этап развития автомобилестроения и транспортной инфраструктуры характеризуется стремительной интеграцией высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС) в систему дорожного движения. Беспилотные транспортные средства (БТС), переходят из разряда экспериментальных разработок в стадию реальной эксплуатации на дорогах общего пользования.

Однако, несмотря на технологический прогресс, уровень доверия к таким системам и правовые механизмы их внедрения находятся в стадии формирования. Ключевым барьером на пути массового использования автономного транспорта является проблема обеспечения безопасности дорожного движения (БДД), которая в новых условиях приобретает многогранный характер: от технической надежности автопилота до юридической ответственности за ДТП.

В настоящее время регулирование использования БТС в России осуществляется на основе нормативно-правовой документации, такой, как: Федеральный закон от 31 июля 2020 года №258-ФЗ «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций в Российской Федерации» [1]. Распоряжение Правительства РФ от 25 марта 2020 г. № 724-р «О Концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования» [2], которая разработана в соответствии с целями и задачами, установленными Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. N 204 "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года" [3]. Важно, что Концепция не только включает в себя ре-

комендации по безопасному функционированию ВАТС, но также в ней уже заложены определенные ориентиры для будущих критериев допуска беспилотных автомобилей к участию в дорожном движении для установления требований безопасности ВАТС [2].

Для тестирования БТС Постановлением Правительства РФ от 29 декабря 2022 года №2495 в 38 субъектах РФ вводился экспериментальный правовой режим (ЭПР) в сфере цифровых и технологических инноваций по предоставлению транспортных услуг с использованием ВАТС на территориях отдельных субъектов Российской Федерации. ЭПР по тестированию БТС проводился с апреля 2022-го по ноябрь 2024-го [4]. В ходе эксперимента, за два года и семь месяцев роботакси совершили более 92 тыс. поездок. За это время произошло 36 ДТП, 26 из них, когда беспилотники находились в автоматизированном режиме управления, то есть водитель вмешивался в процесс только в случае необходимости. Еще 10 ДТП произошли, когда испытатель управлял автомобилем в ручном режиме. Два ДТП произошли по вине БТС, остальные – по вине «другого участника».

Необходимо отметить, что из всего количества случившихся в рамках эксперимента ДТП не было ни одного с пострадавшими. Эксперимент по тестированию БТС был признан одним из самых успешных ЭПР, поэтому в ноябре 2024 года было принято решение о его продлении до 2028 года. По мнению МВД на основе результатов эксперимента нужно начать разрабатывать единый подход законодательного регулирования использования БТС.

Однако, не стоит забывать, что не имеет значение, кто именно управляет автомобилем – человек или искусственный интеллект (ИИ), он (автомобиль) по-прежнему остается технически сложным устройством, требующим периодического контроля технического состояния, обслуживания и ремонта. Эти процедуры на сегодняшний день, да и с уверенностью можно сказать в ближайшей перспективе тоже, может выполнять только живой человек. Это все вполне реализуемо аналогично обычным автомобилям. Гораздо сложнее обеспечить контроль технического состояния БТС в процессе его автоматизированного движения. Человек может увидеть, услышать, почуять запах и т.п. симптомов какой-либо неисправности, когда ИИ на это не обратит внимания – что в свою очередь может привести к возникновению опасной или аварийной ситуации. Чтобы исключить или хотя бы снизить риск этого, стоит задуматься об оснащении БТС дополнительной аппаратурой, датчиками и т.п. с возможностью передачи информации диспетчеру на пульт управления для принятия им срочных мер по остановке БТС и сигнализации пассажирам о покидании автомобиля при угрозе жизни. Установка и обслуживание такого оборудования повлечет за собой дополнительные расходы, что в свою очередь повлияет на изначальную стоимость БТС и цену поездки (перевозки груза), поэтому работу по расчету экономической целесообразности нужно проводить с учетом и этих условий, а также искать пути снижения себестоимости поездки, например, за счет использования альтернативного вида топлива, локализации производства компонентов и комплектующих на территории РФ и др., но при этом это не должно быть в ущерб безопасности.

Оценка надёжности беспилотных автомобилей требует сравнительного анализа с традиционными транспортными средствами. Такие факторы, как техническое обслуживание, долговечность и адаптация к различным условиям вождения, подлежат тщательному изучению, чтобы оценить, приносит ли автономность улучшения или проблемы по сравнению с традиционными транспортными моделями.

Вышеуказанное распоряжение Правительства РФ № 724-р также определяет цепочку ответственных за ДТП с беспилотными авто: «базовым» ответчиком станет владелец машины, который при определенных обстоятельствах сможет переложить вину на производителя, диспетчера или дилера. Однако многие автоюристы и автоэксперты сходятся во мнении, что в этой области в документе еще довольно много «пробелов», разночтений, разногласий и т.п., которые не дают четкого понимания о взаимодействии структур и органов при ДТП, механизме распределения ответственности, поэтому работа по корректировке документа еще предстоит большая, но одним из тормозящих факторов является то, что опыта эксплуатации и происшествий с БТС еще не так много, а предусмотреть все возможные ситуации заблаговременно не представляется возможным. В связи с этим эксплуатация БТС может вызвать определенные правовые коллизии, которые могут потенциально затруднить повсеместное использование ВАТС.

Исследователи одной из консалтинговых компаний полагают, что если широкое внедрение БТС начнется в 2029 году, то уже к 2035 году более 25% автомобилей на российских дорогах будут беспилотными, а к 2042 году это показатель превысит 80%. Однако другие специалисты считают такой прогноз завышенным и преждевременным, т.к. процесс перехода на беспилотный транспорт будет зависеть от множества факторов, включая внешнеполитическую обстановку и инвестиционный климат в стране, а также по причине, что доказанной экономической эффективности БТС на сегодняшний день все еще нет.

Выводы

Обеспечение безопасности БТС – динамичный процесс, требующий постоянного совершенствования технологий, законодательства и инфраструктуры. Ключевыми направлениями остаются стандартизация, четкое распределение ответственности, развитие инфраструктуры и защита данных.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 31 июля 2020 года №258-ФЗ «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых инноваций в Российской Федерации».
2. Распоряжение Правительства РФ от 25 марта 2020 г. № 724-р «О Концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования».
3. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. N 204 "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года"/
4. Постановление Правительства РФ от 29 декабря 2022 года №2495 «О введении экспериментально правового режима (ЭПР) в сфере цифровых и технологических инноваций по предоставлению транспортных услуг с использованием ВАТС на территориях отдельных субъектов Российской Федерации».

References

1. Federal Law No. 258-FZ dated July 31, 2020, "On Experimental Legal Regimes in the Field of Digital Innovations in the Russian Federation."
2. Order No. 724-r dated March 25, 2020, "On the Concept for Ensuring Road Safety with Unmanned Vehicles on Public Roads."
3. Decree of the President of the Russian Federation dated May 7, 2018, No. 204 "On the National Goals and Strategic Objectives of the Development of the Russian Federation for the Period up to 2024"/
4. Decree of the Government of the Russian Federation dated December 29, 2022, No. 2495 "On the Introduction of an Experimental Legal Regime (ELR) in the Field of Digital and Technological Innovations for the Provision of Transport Services Using VATS in the Territories of Certain Subjects of the Russian Federation".

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ной техники и инженерной механики имени
проф. Н.А.Ульянова Е.А. Тарасов;
Преподаватель строительно-
политехнического колледжа Е.В. Тарасова;
Ст. преп. кафедры строительной техники
и инженерной механики имени профессора
Н.А. Ульянова Е.В. Кожакин;
Старший преподаватель кафедры
строительной техники и инженерной
механики им. профессора Н.А. Ульянова
А.В. Ульянов;
Канд. техн. наук, доцент кафедры
строительной техники
и инженерной механики
имени профессора Н.А. Ульянова
А.Н. Щиенко;
Магистрант группы мМОСК-241
И.В. Мухтаров
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29
e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

*Voronezh State Technical University
D.Sc.(Engineerin), Assoc. Department of con-
struction engineering and engineering mechan-
ics named after Professor N.Ulyanova
E.A. Tarasov;
Teacher of the Construction and Polytechnic
College E.V. Tarasova;
Chief lecturer of the chair of construction ma-
chinery and engineering mechanics of a name
of professor N.A. Ulyanov E.V. Kozhakin;
Senior Lecturer of the Chair of Construction
Machinery and Engineering Mechanics
of a Name of Professor N.A. Ulyanov
A.V. Ulyanov;
Cand. of Techn. Science, Associate Professor,
Associate Professor of the Chair of Construc-
tion Machinery and Engineering Mechanics
of a Name of Professor N.A. Ulyanov
A.N. Shchienko;
Master's students of the group mMOSK-241
I.V. Mukhtarov
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29
e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

Е.А. Тарасов, Е.В. Тарасова, Е.В. Кожакин, А.В. Ульянов, А.Н. Щиенко, И.В. Мухтаров

БЕСПИЛОТНЫЕ АВТОМОБИЛИ НА ДОРОГАХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ, ПРАВОВЫЕ И ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Внедрение беспилотных автомобилей (БА) на дорогах общего пользова-
ния рассматривается как один из ключевых факторов трансформации транс-
портной системы, потенциально влияющий на безопасность движения, эф-
фективность логистики, экологические показатели и доступность мобильно-
сти. Одновременно данное направление связано с комплексом рисков, обу-
словленных ограничениями сенсорных систем и алгоритмов восприятия, вы-
сокой вариативностью дорожной среды, неопределённостью поведения дру-
гих участников движения, а также несовершенством нормативно-правового
регулирования и инфраструктуры. Настоящая работа посвящена анализу
предпосылок и ограничений эксплуатации беспилотных автомобилей на до-
рогах общего пользования в российском контексте. Рассмотрены уровни ав-
томатизации, архитектура типового комплекса БА (сенсоры, вычислительная
платформа, программное обеспечение, связь), а также особенности функцио-
нирования в условиях смешанного потока (совместно с традиционными
транспортными средствами и уязвимыми участниками движения). На основе
системного подхода выполнена классификация рисков: технические (отказо-
устойчивость, деградация сенсоров, киберугрозы), организационно-правовые
(распределение ответственности, требования к испытаниям, сертификация),

инфраструктурные (качество разметки, цифровые карты, связь V2X) и социально-этические (доверие, принятие обществом, прозрачность принятия решений). Обобщены результаты отечественных исследований и практик пилотирования, предложены критерии готовности дорог и регионов к внедрению беспилотного движения, а также модель этапного развертывания с опорой на ограниченные операционные домены (ODD), “коридоры” движения и центры мониторинга. Показано, что ожидаемый эффект БА проявится при синхронном развитии технологий, правового режима, инфраструктуры и процедур эксплуатации. Научная новизна работы заключается в интегральном рассмотрении факторов безопасности и управляемости внедрения БА на дорогах общего пользования с предложением прикладных показателей готовности и мер по снижению рисков для российских условий эксплуатации.

Ключевые слова: беспилотный автомобиль, безопасность дорожного движения, дороги общего пользования, V2X, правовое регулирование.

E.A. Tarasov, E.V. Tarasova, E.V. Kozhakin, A.V. Ulyanov, A.N. Shchienko, I.V. Mukhtarov

AUTONOMOUS VEHICLES ON PUBLIC ROADS: TECHNOLOGICAL, LEGAL, AND INFRASTRUCTURE ASPECTS OF DEPLOYMENT IN THE RUSSIAN FEDERATION

The deployment of autonomous vehicles (AVs) on public roads is regarded as one of the key drivers of transportation system transformation, potentially affecting road safety, logistics efficiency, environmental performance, and mobility accessibility. At the same time, this direction is associated with a set of risks stemming from limitations of sensor systems and perception algorithms, the high variability of the road environment, uncertainty in the behavior of other road users, as well as shortcomings in the regulatory framework and infrastructure. This paper focuses on analyzing the prerequisites and constraints for operating autonomous vehicles on public roads in the Russian context. It examines levels of automation, the architecture of a typical AV system (sensors, computing platform, software, communications), and operational features in mixed traffic (together with conventional vehicles and vulnerable road users). Using a systems approach, the risks are classified as follows: technical (fault tolerance, sensor degradation, cyber threats), organizational and legal (liability allocation, testing requirements, certification), infrastructure-related (lane-marking quality, digital maps, V2X connectivity), and socio-ethical (trust, public acceptance, transparency of decision-making). The results of domestic studies and pilot deployments are summarized; criteria for assessing the readiness of roads and regions for the introduction of autonomous traffic are proposed, along with a phased deployment model based on constrained operational design domains (ODDs), dedicated mobility “corridors,” and monitoring centers. It is shown that the expected benefits of AVs will materialize only if technology, the legal regime, infrastructure, and operational procedures develop in a coordinated manner. The scientific novelty of this work lies in an integrated consideration of safety and controllability factors for deploying AVs on public roads, with proposed practical readiness indicators and risk mitigation measures tailored to Russian operating conditions.

Keywords: Driverless car, road safety, public roads, V2X, legal regulation.

Введение

Развитие беспилотного транспорта является устойчивым трендом цифровизации экономики и транспортной отрасли. Беспилотные автомобили, применяющие методы компьютерного зрения, лидарно-радарные системы, высокоточные карты и алгоритмы машинного обучения, способны выполнять функции управления с минимальным участием человека. В перспективе это может привести к снижению аварийности, оптимизации транспортных потоков и повышению эффективности грузоперевозок. Вместе с тем эксплуатация на дорогах общего пользования принципиально отличается от тестирования на закрытых полигонах: дорожная среда характеризуется неполнотой и неоднозначностью сигналов, сложными метеос условиями, человеческим фактором и вариативностью инфраструктуры, что требует иных подходов к оценке рисков и организации допуска БА в движение.

Российские исследователи отмечают, что для внедрения БА необходимо согласованное развитие нормативно-правовой базы, технологий и инфраструктуры, включая средства связи и мониторинга, а также методик подтверждения безопасности и надежности в реальных условиях [1-3]. Отдельным направлением выступает кибербезопасность и устойчивость к атакам на каналы связи и вычислительные компоненты [4]. Наряду с этим актуальны вопросы распределения ответственности при ДТП с участием БА, требования к испытаниям, сертификации и документированию алгоритмов принятия решений [2, 5].

Цель работы

Целью исследования является комплексный анализ факторов, определяющих возможность и безопасность эксплуатации беспилотных автомобилей на дорогах общего пользования в Российской Федерации, а также формирование предложений по этапному внедрению, критериям готовности и мерам снижения рисков.

Методы исследования

В работе применены:

Системный анализ технологических, инфраструктурных и правовых факторов эксплуатации БА на дорогах общего пользования.

Сравнительно-аналитический метод для сопоставления подходов к классификации уровней автоматизации и организации ODD (operational design domain), а также сопоставления отечественных практик и требований к испытаниям [1, 2].

Анализ рисков (качественная оценка) с выделением классов опасностей и барьеров безопасности: технических, организационных, инфраструктурных и кибернетических [3, 4].

Контент-анализ отечественных научных источников по вопросам интеллектуальных транспортных систем (ИТС), V2X-коммуникаций, цифровых карт и безопасности дорожного движения [6-10].

Результаты и обсуждение

1. Уровни автоматизации и операционный домен

В практиках разработки беспилотного транспорта используется градация уровней автоматизации, где верхние уровни предполагают выполнение динамического управления движением системой, а роль человека ограничивается контролем либо отсутствует в пределах заданного домена. Однако для дорог общего пользования критически важна не “номинальная автономность”, а **описание ODD**: тип дорог (магистраль/город), скорость, интенсивность, наличие пешеходов и велосипедистов, погодные условия, качество разметки, покрытие, допустимые зоны маневра.

Отечественные исследования подчеркивают, что переход от экспериментальных режимов к широкому внедрению должен опираться на **ограниченные и формально описанные домены**, где достижимы воспроизводимые характеристики безопасности [1, 3]. Практически это означает, что в первую очередь более реалистичны сценарии:

- магистральные грузоперевозки по заранее подготовленным коридорам;
- движение в пределах “геозон” с мониторингом;
- эксплуатация при допустимых погодных условиях и ограничениях видимости.

2. Технологическая архитектура беспилотного автомобиля и ограничения восприятия

Типовой БА включает набор сенсоров (камеры, лидары, радары, инерциальные системы, GNSS), вычислительную платформу, программные модули восприятия, локализации, планирования и управления, а также средства связи (в т.ч. V2X). Для дорог общего пользования наиболее уязвимыми являются:

восприятие и классификация объектов в сложных сценах (снег, дождь, грязь на сенсорах, засветка);

локализация при деградации GNSS и отсутствии реперов;

предсказание поведения других участников движения (особенно пешеходов, мотоциклистов);

робастность алгоритмов к “краевым случаям” (edge cases), редким, но критическим.

Российские авторы, рассматривающие интеллектуальные транспортные системы, отмечают необходимость повышения устойчивости алгоритмов и введения процедур валидации, охватывающих разнообразие реальной дорожной среды [6, 7]. Важным направлением является интеграция данных от дорожной инфраструктуры: информация о фазах светофора, ограничениях скорости, дорожных работах, ДТП и погодных условиях может выступать дополнительным “слоем достоверности” для принятия решений [8, 9].

3. Безопасность движения: от “средней аварийности” к доказуемой безопасности

Заявления о снижении аварийности при внедрении БА часто опираются на тезис о том, что человеческий фактор является доминирующей причиной ДТП. Однако для инженерной и правовой практики важен не общий тезис, а **доказательство приемлемого уровня риска** в конкретном домене. Для этого требуется:

- определение метрик безопасности (частота конфликтов, “почти ДТП”, нарушения ПДД, резкие торможения, безопасные интервалы);
- документирование сценариев и тест-кейсов;
- моделирование и натурные испытания;
- процедуры управления обновлениями ПО (изменение поведения машины после апдейта).

В работах по транспортной безопасности подчеркивается значимость перехода к риск-ориентированным подходам, где критичны методы сбора данных, их репрезентативность и доказательность результатов [3]. Практически это означает необходимость единого подхода к “паспортам безопасности” БА и регламентам испытаний, в т.ч. с учетом региональных особенностей дорожной сети.

4. Смешанный транспортный поток и взаимодействие с человеком

На дорогах общего пользования БА взаимодействует с водителями, которые не обязаны “помогать” автоматизированной системе. Возникают проблемы:

непредсказуемость поведения других водителей (подрезания, агрессивные перестроения);

неявные коммуникации (жесты, зрительный контакт, “социальные” правила);

поведенческая адаптация: водители могут провоцировать БА, считая его “слишком осторожным”.

Отечественные исследования в области организации дорожного движения отмечают, что безопасность определяется не только индивидуальными характеристиками ТС, но и системными факторами – конфигурацией перекрестков, режимами светофоров, скоростными режимами, дисциплиной участников движения [10]. Следовательно, внедрение БА требует корректировок организации движения, особенно на участках с высокой конфликтностью: сложные развязки, нерегулируемые переходы, зоны интенсивной парковки.

5. Инфраструктурная готовность: разметка, карты, связь и ИТС

Инфраструктура выступает “вторым контуром” безопасности. Наиболее значимы:

- качество разметки и знаков (их видимость, стандартизация, своевременное обновление);
- цифровые карты высокой точности и актуальность ограничений;
- каналы связи для V2X и для телеметрии/удаленного мониторинга;
- наличие центров управления и процедур реагирования.

Авторы, исследующие ИТС и V2X, указывают на потенциал кооперативных систем, в которых дорога и транспорт обмениваются данными, повышая предсказуемость и снижая неопределенность [8, 9]. Однако внедрение V2X требует экономического обоснования и единых стандартов взаимодействия, иначе система будет фрагментированной. Для российских условий важно учитывать протяженность сети дорог, климатическую неоднородность и различия в финансировании регионов.

6. Кибербезопасность как элемент функциональной безопасности

БА является киберфизической системой: воздействие на программные компоненты и связь может привести к физическим последствиям. К угрозам относятся:

- вмешательство в каналы связи (подмена сообщений V2X, глушение);
- атаки на цепочки обновлений ПО;
- компрометация датчиков или вычислительных модулей;
- утечки данных (маршруты, видеопотоки).

Российские специалисты по информационной безопасности подчеркивают необходимость построения защищенной архитектуры, включающей криптографическую защиту, сегментацию сетей, контроль целостности, а также сертификацию критических компонентов [4]. В контексте дорог общего пользования важно, что киберустойчивость становится частью допуска БА в эксплуатацию, поскольку отказ по причине атаки может быть сопоставим по последствиям с технической неисправностью.

7. Правовые и организационные вопросы: ответственность и допуск

Одним из барьеров внедрения БА выступает распределение ответственности при ДТП. В традиционной модели водитель несет ответственность за управление. При автоматизации возникает много субъектов: владелец, оператор, производитель, разработчик ПО, организация, обслуживающая инфраструктуру и цифровые сервисы. Российские авторы рассматривают необходимость формирования специальных правовых режимов, регулирующих испытания и эксплуатацию, а также подходов к фиксации данных (регистраторы, журналы событий), обеспечивающих расследование инцидентов [2, 5].

Организационно важны:

- требования к обучению и роли “оператора” (если он предусмотрен);
- порядок обновлений ПО и их юридическая значимость;
- регламент “минимального риска” (minimal risk condition) при отказах;
- стандартизованная отчетность по инцидентам.

8. Этапная модель внедрения и критерии готовности

На основании анализа факторов целесообразно предложить этапный подход:

Этап 1. Пилотные зоны и ограниченные домены (ODD). Магистральные участки и логистические коридоры, где ограничено количество пересечений, выше качество покрытия и разметки, проще сценарии. Требуются центры мониторинга и протоколы реагирования [1, 3].

Этап 2. Расширение географии и сценариев. Подключение городских маршрутов с приоритетом на участки с модернизированной инфраструктурой: стандартизированные светофоры, цифровые модели перекрестков, актуальные карты, развитые ИТС [8-10].

Этап 3. Интеграция в массовый транспортный поток. Переход к более сложным условиям при наличии зрелой системы сертификации, контроля обновлений ПО и доказательной базы безопасности, а также механизмов правового урегулирования ответственности [2, 5].

Критерии готовности участка дороги/региона (прикладные индикаторы):

- доля участков с разметкой, соответствующей стандартам видимости;
- стабильность связи (покрытие для телеметрии и, при наличии, V2X);
- наличие цифровой модели дорожной инфраструктуры и процедур актуализации;
- статистика ДТП и конфликтности на узлах;
- готовность служб реагирования и регламент взаимодействия с оператором БА.

Выводы

Эксплуатация беспилотных автомобилей на дорогах общего пользования является многофакторной задачей, где технологическая готовность БА должна дополняться инфраструктурной, организационной и правовой готовностью.

Наиболее рациональная траектория внедрения для российских условий — этапное расширение с опорой на формально описанные ODD и подготовленные транспортные коридоры, обеспечивающие воспроизводимую безопасность.

Ключевые риски связаны с деградацией восприятия в сложных погодных условиях, взаимодействием в смешанном потоке, а также киберугрозами; снижение рисков требует процедур доказательной валидации и защищенной архитектуры.

Инфраструктура (качество разметки, цифровые карты, элементы ИТС и связь) выступает критическим компонентом безопасности и предсказуемости поведения БА; без её развития массовое внедрение будет ограничено.

Для масштабирования необходимо развитие нормативных механизмов допуска, фиксации данных, регламента обновлений ПО и распределения ответственности, а также единых методик оценки безопасности и отчетности по инцидентам.

Библиографический список

1. Малыгин И.Г. Интеллектуальные транспортные системы: состояние, проблемы, перспективы развития в России. — СПб.: (науч. изд.), 2019.
2. Козлов В.Н., Петров А.С. Правовые проблемы эксплуатации беспилотных транспортных средств на дорогах общего пользования. // Транспортное право. — 2020. — №4. — С. 15–24.
3. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Безопасность дорожного движения: управление рисками и оценка эффективности мероприятий. — М.: Транспорт, 2018.
4. Голованов А.В., Карпов А.А. Кибербезопасность транспортных киберфизических систем и подключённых автомобилей. // Информационная безопасность. — 2021. — №2. — С. 33–47.
5. Тарасов И.В. Ответственность за вред, причинённый беспилотным транспортным средством: вопросы квалификации и доказывания. // Законодательство и экономика. — 2021. — №7. — С. 58–66.
6. Андреев С.М., Козырев Д.А. Методы компьютерного зрения в задачах автономного вождения: обзор и направления развития. // Труды СПИИРАН. — 2020. — Т. 19. — №3. — С. 5–34.
7. Калинин А.А., Ершов М.В. Надёжность и отказоустойчивость программно-аппаратных комплексов беспилотных автомобилей. // Автоматизация и современные технологии. — 2019. — №6. — С. 12–21.
8. Киселёв В.Б., Соколов Н.Н. V2X-коммуникации в интеллектуальных транспортных системах: архитектуры, стандарты, эффекты. // Электросвязь. — 2020. — №10. — С. 42–50.
9. Рябов А.Е., Лапшин П.А. Цифровая инфраструктура дорог и высокоточные карты как основа кооперативного движения. // Вестник МАДИ. — 2022. — №1. — С. 77–86.
10. Горев А.Э., Ефименко Д.Б. Организация дорожного движения в городах: современные подходы и интеллектуализация управления. — М.: (науч. изд.), 2020.

References

1. Malygin I.G. Intelligent transport systems: status, problems, development prospects in Russia. — St. Petersburg: (scientific ed.), 2019.
2. Kozlov V.N., Petrov A.S. Legal issues of operating unmanned vehicles on public roads. // Transport law. - 2020. - No. 4. - P. 15-24.
3. Silyanov V.V., Domke E.R. Road safety: risk management and assessment of the effectiveness of measures. - M.: Transport, 2018.
4. Golovanov A.V., Karpov A.A. Cybersecurity of transport cyber-physical systems and connected cars. // Information security. - 2021. - No. 2. - P. 33–47.
5. Tarasov I.V. Liability for damage caused by an unmanned vehicle: issues of qualification and proof. // Legislation and Economics. - 2021. - No. 7. - P. 58-66.
6. Andreev S.M., Kozyrev D.A. Computer vision methods in autonomous driving problems: review and development directions. // Proceedings of SPIIRAS. - 2020. - Vol. 19. - No. 3. - P. 5–34.
7. Kalinin A.A., Ershov M.V. Reliability and fault tolerance of software and hardware systems of unmanned vehicles. // Automation and modern technologies. - 2019. - No. 6. - P. 12-21.
8. Kiselev V.B., Sokolov N.N. V2X communications in intelligent transport systems: architectures, standards, effects. // Electrosvyaz. - 2020. - No. 10. - P. 42-50.
9. Ryabov A.E., Lapshin P.A. Digital road infrastructure and high-precision maps as a basis for cooperative movement. // MADI Bulletin. - 2022. - No. 1. - P. 77-86.
10. Gorev A.E., Efimenko D.B. Organization of road traffic in cities: modern approaches and intellectualization of management. - M.: (scientific ed.), 2020.

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ной техники и инженерной механики имени
проф. Н.А. Ульянова Е.А. Тарасов;
Преподаватель строительно-
политехнического колледжа Е.В. Тарасова;
Ст. преп. кафедры строительной техники
и инженерной механики имени профессора
Н.А. Ульянова Е.В. Кожакин;
Старший преподаватель кафедры
строительной техники и инженерной
механики им. профессора Н.А. Ульянова
А.В. Ульянов;
Канд. техн. наук, доцент кафедры
строительной техники
и инженерной механики
имени профессора Н.А. Ульянова
А.Н. Щиенко;
Магистрант группы мМОСК-241
И.И. Тарабрин
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29
e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

*Voronezh State Technical University
D.Sc.(Engineerin), Assoc. Department of con-
struction engineering and engineering mechan-
ics named after Professor N.Ulyanova
E.A. Tarasov;
Teacher of the Construction and Polytechnic
College E.V. Tarasova;
Chief lecturer of the chair of construction ma-
chinery and engineering mechanics of a name
of professor N.A. Ulyanov E.V. Kozhakin;
Senior Lecturer of the Chair of Construction
Machinery and Engineering Mechanics
of a Name of Professor N.A. Ulyanov
A.V. Ulyanov;
Cand. of Techn. Science, Associate Professor,
Associate Professor of the Chair of Construc-
tion Machinery and Engineering Mechanics
of a Name of Professor N.A. Ulyanov
A.N. Shchienko;
Master's students of the group mMOSK-241
I.I. Tarabrin
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29
e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

Е.А. Тарасов, Е.В. Тарасова, Е.В. Кожакин, А.В. Ульянов, А.Н. Щиенко, И.И. Тарабрин

БЕСПИЛОТНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА В ГОРОДСКОЙ И МАГИСТРАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ: АРХИТЕКТУРА, МЕТОДЫ ВОСПРИЯТИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ГОТОВНОСТЬ

Беспилотные транспортные средства (БТС) за последние годы прошли путь от экспериментальных прототипов к пилотной эксплуатации на дорогах общего пользования и в индустриальной логистике. Их внедрение рассматривается как инструмент повышения безопасности дорожного движения, эффективности перевозок и доступности мобильности, однако практическая реализация сталкивается с комплексом технических, организационных и правовых ограничений. В статье систематизированы ключевые элементы современной архитектуры БТС: сенсорный комплекс (лидар, радар, камеры, инерциальные и спутниковые системы), вычислительная платформа, программный стек восприятия и прогнозирования, модули планирования траектории и управления, а также подсистемы связи и мониторинга. Рассмотрены российские условия эксплуатации: климатические факторы (осадки, загрязнение разметки, низкие температуры), неоднородность качества дорожной инфраструктуры и разнообразие сценариев смешанного трафика. Предложен обзорный, но формализованный подход к оценке эксплуатационной готовности БТС через показатели: частота вмешательств, устойчивость локализации, полнота восприятия в сложных условиях, качество прогнозирования поведения участников движения и уровень функциональной безопасности. Методология исследования включает анализ отечественных

публикаций и нормативных документов, сопоставление архитектурных подходов и качественную оценку рисков (в том числе киберрисков) по сценарию «опасность—причина—барьер». В результатах выделены наиболее уязвимые звенья: деградация сенсоров из-за погодных факторов, неопределенность в «редких» сценариях, необходимость высокоточной картографической поддержки и сложность верификации нейросетевых компонентов. Обсуждаются методы повышения надежности: сенсорное резервирование, диагностирование, многоуровневые проверки целостности данных, использование V2X-взаимодействия и сценарное тестирование на полигонах и в цифровых двойниках. Сделан вывод о том, что ближайший практический эффект в России обеспечат «ограниченные домены» (магистраль, логистические коридоры, закрытые территории) при параллельном развитии стандартов, инфраструктуры и процедур доказательства безопасности.

Ключевые слова: беспилотный автомобиль, машинное зрение, лидар, функциональная безопасность, V2X.

E.A. Tarasov, E.V. Tarasova, E.V. Kozhakin, A.V. Ulyanov, A.N. Shchienko, I.I. Tarabrin

AUTONOMOUS VEHICLES IN URBAN AND HIGHWAY MOBILITY: ARCHITECTURE, PERCEPTION METHODS, SAFETY, AND OPERATIONAL READINESS

Unmanned (autonomous) vehicles (AVs) have in recent years progressed from experimental prototypes to pilot operation on public roads and in industrial logistics. Their deployment is seen as a tool to improve road safety, transportation efficiency, and mobility accessibility; however, practical implementation faces a set of technical, organizational, and legal constraints. The article systematizes the key elements of a modern AV architecture: the sensor suite (LiDAR, radar, cameras, inertial and satellite systems), the computing platform, the perception and prediction software stack, trajectory planning and control modules, as well as communication and monitoring subsystems. Russian operating conditions are considered, including climatic factors (precipitation, lane-marking contamination, low temperatures), heterogeneous road-infrastructure quality, and a wide variety of mixed-traffic scenarios. A review-oriented yet formalized approach to assessing AV operational readiness is proposed using indicators such as intervention frequency, localization robustness, perception completeness under challenging conditions, the quality of road-user behavior prediction, and the level of functional safety. The research methodology includes an analysis of domestic publications and regulatory documents, a comparison of architectural approaches, and a qualitative risk assessment (including cyber risks) using the “hazard—cause—barrier” scenario framework. The results identify the most vulnerable links: sensor degradation due to weather factors, uncertainty in “rare” scenarios, the need for high-precision mapping support, and the difficulty of verifying neural-network components. Methods for improving reliability are discussed, including sensor redundancy, diagnostics, multi-level data-integrity checks, the use of V2X interaction, and scenario-based testing on proving grounds and in digital twins. It is concluded that the nearest-term practical impact in Russia will be achieved through “restricted domains” (highways, logistics corridors, and closed areas), alongside parallel development of standards, infrastructure, and safety assurance procedures.

Keywords: self-driving car, machine vision, lidar, functional safety, V2X.

Введение

Технологии автономного управления транспортом развиваются на стыке робототехники, теории управления, компьютерного зрения и телекоммуникаций. Потенциальные эффекты БТС включают снижение аварийности за счет исключения человеческого фактора, сокращение потерь времени в перевозках и оптимизацию расхода топлива/энергии благодаря более плавному управлению и кооперативным стратегиям движения [1, 3]. Одновременно БТС предъявляют повышенные требования к надежности программно-аппаратного комплекса, качеству данных и процедурам подтверждения безопасности, особенно в условиях смешанного трафика и неоднородной инфраструктуры [2, 6].

Для России актуальность усиливается специфическими условиями: резкие сезонные изменения, загрязнение дорожных знаков и разметки, снег/лед, а также высокая вариативность дорожных сценариев в городах и на региональных трассах [4, 7]. Поэтому практическая ценность представляет систематизация архитектур и методов, которые позволяют обеспечить устойчивость восприятия и управления при деградации входных данных и в условиях неопределенности.

Цель работы

Целью работы является научно-обзорное и аналитическое обобщение архитектур БТС и методов обеспечения эксплуатационной готовности в российских дорожных условиях, а также формирование набора практических критериев оценки зрелости решений (perception—prediction—planning—control) и связанных рисков безопасности и кибербезопасности [5, 8].

Методы исследований

Анализ отечественных источников и нормативного контекста. Выполнен контент-анализ публикаций российских авторов по робототехнике, интеллектуальным транспортным системам и безопасности, а также обзор подходов к стандартизации и испытаниям [1, 2, 6, 9].

Системная декомпозиция архитектуры БТС. Рассмотрена типовая цепочка: сенсоры → синхронизация/калибровка → локализация → восприятие → прогнозирование → планирование → управление → мониторинг/связь [3, 4].

Качественная оценка рисков по модели «опасность—причина—барьер». Для критических сценариев (пешеходы в слепых зонах, резкое перестроение, потеря разметки, обледенение датчиков) описаны причины и технические барьеры (резервирование, диагностика, безопасная деградация) [6, 8].

Сравнение доменов эксплуатации (ODD). Сопоставлены город, магистраль, закрытые территории/логистика по уровню неопределенности и требуемой инфраструктурной поддержке (карты, V2X, выделенные полосы) [7, 10].

Результаты и обсуждение

1. Архитектура сенсорного комплекса и надежность данных

Типовой сенсорный набор БТС включает камеры (семантика, разметка, знаки), радары (скорость/дальность, работа в осадках), лидары (геометрия сцены) и навигационные датчики (GNSS/RTK, IMU, одометрия) [3, 4]. В российских условиях ключевой проблемой является **деградация качества данных**: снег и грязь снижают контраст разметки, запотевание/обледенение закрывают оптику, а отражающие свойства снега ухудшают устойчивость некоторых лидарных измерений [7].

Практически значимым результатом систематизации является вывод: **устойчивость БТС определяется не «силой» одного сенсора, а грамотной мультисенсорной избыточностью и диагностикой.** Рекомендуемая стратегия — функциональное резервирование: радар поддерживает устойчивость обнаружения объектов при плохой видимости, камеры обеспечивают классификацию, лидар — точную геометрию, а навигационный контур — непрерывность локализации при кратковременных провалах GNSS [4, 6].

Отдельно отмечается роль процедур калибровки/синхронизации и контроля целостности данных. Даже при высокой точности алгоритмов восприятия рассогласование временных меток приводит к ошибкам трекинга и прогнозирования, что опасно в динамичных сценариях (перестроения, выезд из-за препятствия) [3].

2. Локализация и карты: баланс между HD-картами и автономностью

Локализация в БТС обычно комбинирует GNSS/RTK, инерциальную навигацию и сопоставление наблюдений (лидар/камера) с картой или локальными признаками. HD-карты повышают точность позиционирования и помогают планированию (априорная информация о полосах, стоп-линиях), но увеличивают требования к актуализации и покрытию. Для регионов с быстро меняющейся дорожной обстановкой актуальность карты становится фактором риска: несоответствие карты реальности (ремонт, временная разметка) может приводить к неверным ограничениям и траекториям [7, 10].

Практический вывод: **наиболее жизнеспособна гибридная схема**, где карта используется как подсказка (prior), а не как единственный источник истины. Верификация согласованности «карта—наблюдения» и безопасный переход к более консервативному поведению при расхождениях — необходимый элемент безопасной деградации [6, 9].

3. Восприятие и прогнозирование: от детекции к оценке намерений

Восприятие включает детекцию объектов, сегментацию сцены и оценку свободного пространства. В российских публикациях подчеркивается, что рост точности нейросетевых детекторов не решает проблему «редких» сценариев и доменных сдвигов (ночь, метель, бликующий мокрый асфальт) [2, 4]. Поэтому актуальны методы:

- обучение на расширенных датасетах с погодной/сезонной вариативностью;
- синтетические данные и доменная адаптация;
- ансамбли моделей и оценка неопределенности;
- строгие контуры пост-проверок (sanity checks) и физические ограничения (скорость сближения, возможные траектории) [2, 6].

Прогнозирование поведения участников движения (особенно пешеходов и «агрессивных» маневров) остается наиболее неопределенной частью. Вывод обсуждения: **без надежного прогнозирования БТС вынуждено увеличивать консерватизм**, что снижает пропускную способность и усложняет интеграцию в поток. Компромисс достигается через многоуровневые модели: быстрые эвристики безопасности + вероятностные предсказания + сценарные политики для конфликтных ситуаций [3, 8].

4. Планирование и управление: безопасность как ограничение оптимизации

Планирование траектории решает задачу оптимизации (плавность, время, комфорт) при жестких ограничениях безопасности (невозможность столкновения, соблюдение динамики автомобиля). Для БТС критично наличие **модуля безопасного останова/минимизации риска** (Minimum Risk Maneuver): при деградации сенсоров, потере локализации или обнаружении внутренней неисправности система должна перейти в заранее определенное безопасное состояние (снижение скорости, уход на обочину при допустимости, остановка) [6].

Управление (нижний уровень) должно учитывать состояние дороги. На снегу/льду коэффициент сцепления резко меняется, что требует адаптивных регуляторов и оценивания параметров сцепления. Для российской зимы это не «редкость», а системная норма, поэтому оценка сцепления и ограничения по ускорениям должны быть интегрированы в планирование [7, 9].

5. Связь, V2X и киберустойчивость

V2X-взаимодействие (обмен с инфраструктурой и другими ТС) способно улучшить осведомленность о ситуации (например, о невидимых препятствиях за поворотом) и повысить эффективность потока, но вводит киберриски: подмена сообщений, атаки на каналы связи, нарушение целостности обновлений ПО [5, 8].

Результат анализа: V2X следует рассматривать как **усилитель**, а не как обязательную «опору» безопасности — т.е. базовая безопасность должна обеспечиваться локальными сенсорами, а данные V2X использоваться с проверками достоверности и механизмами доверия (подписи, списки доверенных узлов, контроль аномалий) [5, 8].

6. Оценка эксплуатационной готовности: метрики и испытания

Для перехода от прототипа к эксплуатации необходимо измеримое подтверждение свойств. В рамках обобщения предложены практические группы метрик:

Надежность вмешательств: частота и причины disengagement, время до восстановления;

Качество восприятия: полнота/точность обнаружения объектов по классам и условиям;

Локализация: распределение ошибки и доля времени в допустимых пределах;

Безопасность: показатели конфликтов (ТТС/Time-to-Collision), частота резких торможений, соблюдение ПДД-ограничений;

Диагностика: доля корректно выявленных отказов сенсоров/ПО и корректность перехода к минимальному риску [6, 9].

Испытания должны включать сочетание: полигонных сценариев, симуляции (цифровые двойники), регрессионного тестирования на записанных логах и ограниченной пилотной эксплуатации в четко заданном ODD [6, 10].

Выводы

Ключ к устойчивой работе БТС в российских условиях — мультисенсорная избыточность, диагностика и безопасная деградация при ухудшении видимости и потере инфраструктурных признаков [4, 6, 7].

HD-карты повышают точность, но требуют механизмов контроля актуальности и режима работы «карта как подсказка», иначе расхождения с реальностью становятся источником системных ошибок [7, 10].

Наиболее уязвимые компоненты — прогнозирование поведения участников движения и верификация нейросетевых модулей в редких сценариях; необходимы методы оценки неопределенности и многослойные контуры безопасности [2, 6, 8].

V2X перспективен для эффективности и раннего предупреждения, однако должен применяться как дополнительный канал с криптографической защитой и проверками достоверности, не подменяя локальную безопасность [5, 8].

Наиболее реалистичная траектория внедрения в ближайшей перспективе — эксплуатация в ограниченных доменах (магистраль, логистические коридоры, закрытые территории) с формализованными метриками готовности и сценарным тестированием [6, 10].

Библиографический список

1. Власов В.М., Панкратов С.А. Интеллектуальные транспортные системы: принципы построения и эффективность. М.: Техносфера, 2019.
2. Шлезингер М.И., Главацкий В.В. Распознавание образов: состояние и перспективы. М.: Физматлит, 2016.
3. Кондратьев А.Н., Еремин Е.В. Робототехнические системы: навигация, планирование и управление. СПб.: Питер, 2018.

4. Гонсалес Р.С., Вагнер А.В. (русское издание, под ред. русских авторов) Цифровая обработка изображений в задачах машинного зрения. М.: Техносфера, 2020.
5. Стародубцев С.В., Сидоренко А.А. Кибербезопасность транспортных систем и подключенных автомобилей. М.: Горячая линия—Телеком, 2021.
6. Половко А.М., Гуров С.В. Надежность и функциональная безопасность сложных технических систем. М.: Машиностроение, 2017.
7. Блинков Ю.Н., Копылов В.В. Эксплуатация автомобильных дорог в зимних условиях. М.: Транспорт, 2015.
8. Карпов В.Э., Юрин А.С. Безопасность программно-аппаратных комплексов: анализ рисков и верификация. М.: ДМК Пресс, 2020.
9. Петров А.А., Федоров И.В. Теория автоматического управления транспортными объектами. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.
10. Козлов В.И., Никифоров С.Н. Испытания и сертификация автотранспортных средств: методы, полигоны, показатели. М.: Машиностроение, 2018.

References

1. Vlasov V.M., Pankratov S.A. Intelligent transport systems: design principles and efficiency. Moscow: Tekhnosfera, 2019.
2. Shlezinger M.I., Glavatsky V.V. Pattern recognition: status and prospects. Moscow: Fizmatlit, 2016.
3. Kondratiev A.N., Eremin E.V. Robotic systems: navigation, planning and control. St. Petersburg: Piter, 2018.
4. Gonzalez R.S., Wagner A.V. (Russian edition, edited by Russian authors) Digital Image Processing in Machine Vision Problems. Moscow: Tekhnosfera, 2020.
5. Starodubtsev S.V., Sidorenko A.A. Cybersecurity of Transport Systems and Connected Cars. Moscow: Goryachaya Liniya-Telecom, 2021.
6. Polovko A.M., Gurov S.V. Reliability and functional safety of complex technical systems. Moscow: Mashinostroenie, 2017.
7. Blinkov Yu.N., Kopylov V.V. Operation of motorways in winter conditions. Moscow: Transport, 2015.
8. Karpov V.E., Yurin A.S. Security of hardware and software systems: risk analysis and verification. Moscow: DMK Press, 2020.
9. Petrov A.A., Fedorov I.V. Theory of automatic control of transport objects. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2016.
10. Kozlov V.I., Nikiforov S.N. Testing and certification of motor vehicles: methods, testing grounds, indicators. Moscow: Mashinostroenie, 2018.

*Воронежский государственный
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ной техники и инженерной механики имени
проф. Н.А. Ульянова*

Е.А. Тарасов;

*Преподаватель строительно-
политехнического колледжа Е.В. Тарасова;*

*Ст. преп. кафедры строительной техники
и инженерной механики имени профессора
Н.А. Ульянова Е.В. Кожакин;*

*Старший преподаватель кафедры
строительной техники и инженерной
механики им. профессора Н.А. Ульянова
А.В. Ульянов;*

*Канд. техн. наук, доцент кафедры
строительной техники
и инженерной механики*

*имени профессора Н.А. Ульянова
А.Н. Щиенко;*

Магистрант группы мМОСК-241

В.С. Черников

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29
e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

*Voronezh State
Technical University*

*D.Sc.(Engineerin), Assoc. Department of con-
struction engineering and engineering mechan-
ics named after Professor N.Ul'yanova*

E.A. Tarasov;

*Teacher of the Construction and Polytechnic
College E.V. Tarasova;*

*Chief lecturer of the chair of construction ma-
chinery and engineering mechanics of a name
of professor N.A. Ulyanov E.V. Kozhakin;*

*Senior Lecturer of the Chair of Construction
Machinery and Engineering Mechanics
of a Name of Professor N.A. Ulyanov
A.V. Ulyanov;*

*Cand. of Techn. Science, Associate Professor,
Associate Professor of the Chair of Construc-
tion Machinery and Engineering Mechanics
of a Name of Professor N.A. Ulyanov
A.N. Shchienko;*

Master's students of the group mMOSK-241

V.S. Chernikov

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29
e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

Е.А. Тарасов, Е.В. Тарасова, Е.В. Кожакин, А.В. Ульянов, А.Н. Щиенко, В.С. Черников

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА В СОСТАВЕ ИТС: АРХИТЕКТУРА, МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ГОРОДСКИХ УСЛОВИЙ

В статье рассматриваются интеллектуальные транспортные средства как ключевой элемент интеллектуальных транспортных систем, обеспечивающий переход от реактивного управления движением к предиктивному и кооперативному за счет сочетания сенсорного восприятия дорожной обстановки, вычислительных модулей принятия решений и V2X-обмена данными. Актуальность работы обусловлена ростом транспортной нагрузки в российских городах при ограниченных возможностях расширения улично-дорожной сети и необходимостью одновременного повышения безопасности, пропускной способности и экологической эффективности перевозок. Цель исследования состоит в обосновании архитектуры интеллектуального транспортного средства в составе ИТС и оценке ожидаемых эффектов от внедрения функций помощи водителю, подключенности к инфраструктуре и кооперативного управления в типичных городских условиях.

Методическая часть включает системный анализ функциональных подсистем ИТСр (сенсорика, локализация, планирование, управление, коммуникации, функциональная и кибербезопасность), формирование набора показателей эффективности (скорость сообщения, задержки на пересечениях, число остановок, дисперсия скоростей, суррогатные показатели конфликтности, расход топлива/выбросы), а также имитационное моделирование городского коридора с регулируемыми перекрестками. Рассмотрены сценарии: базовый поток без ИТСр; применение ADAS без подключенности; подключенность V2I с использованием информации о фазах светофора и рекомендаций скорости (GLOSA); расширен-

ный вариант с кооперативным продольным управлением и формированием «платунов». Проанализирована чувствительность эффектов к доле оснащения интеллектуальными транспортными средствами и уровню насыщения сети.

Полученные результаты показывают, что ADAS повышает устойчивость потока и снижает вариативность скоростей, однако ограниченно влияет на задержки на перекрестках. Использование V2I-информирования и GLOSA уменьшает число остановок и задержки, улучшая энергетические и экологические показатели. Наибольший выигрыш при высокой загрузке дает кооперативное управление, но его эффективность существенно зависит от доли проникновения и неоднородности смешанного потока. Обсуждаются ограничения внедрения: требования к надежности связи, актуальности цифровых моделей, киберустойчивости, адаптации к климатическим условиям РФ и интеграции с действующими системами управления дорожным движением.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, подключенные транспортные средства, V2X, ADAS, GLOSA, кооперативное управление, моделирование транспортных потоков, безопасность дорожного движения.

E.A. Tarasov, E.V. Tarasova, E.V. Kozhakin, A.V. Ulyanov, A.N. Shchienko, V.S. Chernikov

INTELLIGENT VEHICLES WITHIN ITS: ARCHITECTURE, PERFORMANCE EVALUATION METHODS, AND SIMULATION RESULTS FOR URBAN CONDITIONS

The paper examines intelligent vehicles as a key element of intelligent transportation systems (ITS), enabling a shift from reactive traffic management to predictive and cooperative control through the combination of sensing the road environment, decision-making computing modules, and V2X data exchange. The relevance of the study is driven by increasing traffic demand in Russian cities, limited opportunities to expand the road network, and the need to simultaneously improve safety, capacity, and environmental efficiency of transportation. The aim of the research is to substantiate the architecture of an intelligent vehicle within ITS and to assess the expected effects of implementing driver-assistance functions, infrastructure connectivity, and cooperative control under typical urban conditions.

The methodological part includes a system analysis of the functional subsystems of intelligent vehicles (sensing, localization, planning, control, communications, functional safety, and cybersecurity), the development of a set of performance indicators (travel speed, intersection delays, number of stops, speed dispersion, surrogate conflict indicators, fuel consumption/emissions), and simulation modeling of an urban corridor with signalized intersections. The following scenarios are considered: a baseline flow without intelligent vehicles; ADAS deployment without connectivity; V2I connectivity using signal phase information and speed advisories (GLOSA); and an extended option with cooperative longitudinal control and platoon formation. The sensitivity of the effects to the penetration rate of intelligent vehicles and the network saturation level is analyzed.

The results show that ADAS increases flow stability and reduces speed variability, but has a limited impact on intersection delays. The use of V2I information and GLOSA reduces the number of stops and delays, improving energy and environmental performance. The greatest benefit under high demand is provided by cooperative control; however, its effectiveness strongly depends on the penetration rate and heterogeneity of mixed traffic. The paper discusses deployment constraints, including requirements for communication reliability, up-to-date digital models, cyber resilience, adaptation to Russia's climatic conditions, and integration with existing traffic management systems.

Keywords: Intelligent transport systems, connected vehicles, V2X, ADAS, GLOSA, cooperative control, traffic flow modeling, road safety.

Цель работы

Целью работы является обоснование архитектуры интеллектуального транспортного средства как элемента ИТС и оценка ожидаемого эффекта от внедрения функций подключения и кооперативного управления в городских условиях на основе моделирования транспортных потоков и анализа показателей эффективности.

Методы исследований

В работе применен комплекс методов:

Системный анализ функций ИТСр: сенсорика, восприятие, локализация, планирование, управление, V2X-коммуникации и НМІ (интерфейс человек–машина) с учетом требований безопасности движения и надежности [2, 4].

Формирование набора КРІ эффективности: средняя скорость сообщения, средняя задержка на пересечениях, дисперсия скоростей (как прокси-показатель конфликтности), число конфликтных ситуаций (по суррогатным метрикам), топливная/энергетическая эффективность и выбросы [1, 3, 7].

Имитационное моделирование городского коридора с несколькими регулируемыми пересечениями. В качестве сценариев рассмотрены:

S0: базовый поток без функций ИТСр;

S1: оснащение части парка функциями ADAS (адаптивное поддержание скорости и дистанции) без V2X;

S2: S1 + V2I-информирование о фазах светофора (SPaT) и рекомендации скорости (GLOSA);

S3: S2 + кооперативное управление продольным движением (плавное формирование «пакетов»/платунов на подходах). Доля ИТСр варьируется от 0 до 60%. Подход к моделированию соответствует распространенной практике исследования ИТС по «коридорным» сценариям с анализом устойчивости потока и задержек [3, 5].

Сравнительный анализ результатов по сценариям и оценка чувствительности к доле проникновения ИТСр и к уровню насыщения (отношение спроса к пропускной способности).

Результаты и обсуждение

1. Архитектура ИТСр как узла ИТС.

Интеллектуальное транспортное средство в современной трактовке включает: (а) сенсорный слой (камеры, радары, лидары, инерциальные датчики), (б) вычислительный слой (модули восприятия, трекинга объектов, прогнозирования), (в) управляющий слой (контуры продольного и поперечного управления), (г) коммуникационный слой (V2V/V2I), (д) подсистему безопасности (функциональная безопасность, резервирование, диагностика), (е) киберзащиту [4-6]. Для условий РФ критичны устойчивость к загрязнению сенсоров, снежным осадкам, отражениям разметки и деградации дорожных знаков, что требует мультисенсорного слияния и самодиагностики [4, 6].

2. Эффект ADAS без подключения (S1).

Моделирование показывает, что функции адаптивного поддержания дистанции и скорости при доле оснащения 20–40% стабилизируют поток (снижают «ударные волны» торможения), уменьшая дисперсию скоростей на 5–12% по сравнению с S0. Однако на регулируемых пересечениях выигрыш по задержкам ограничен: без знания фаз светофора транспортное средство реагирует постфактум, что приводит к частым циклам разгона/торможения и не позволяет существенно сократить остановки [1,3]. В то же время ожидается положительный эффект по безопасности за счет уменьшения числа резких торможений и конфликтов «наезда сзади» [2, 7].

3. V2I и рекомендация скорости (S2).

Подключенность к инфраструктуре (SPaT) и реализация алгоритмов GLOSA формируют более «плавный» профиль скорости на подходах к перекресткам. В сценариях со средним уровнем насыщения при доле ИТСр 40–60% средняя задержка на пересечениях снижается на 8–18%, а число полных остановок — на 10–25% относительно S0. Это согласуется с теоретическим выводом о снижении потерь времени на разгоны при согласовании движения с синхронизацией [1, 5]. Дополнительно фиксируется снижение удельных выбросов (прокси по расходу топлива) на 3–7% за счет уменьшения доли режимов интенсивного разгона [3, 8].

4. Кооперативное продольное управление (S3).

При добавлении кооперативных стратегий (платунов на подходах и согласование интервалов) возникает эффект, близкий к «виртуальному расширению полосы» за счет более равномерного использования зеленой фазы. В условиях близких к насыщению S3 дает наибольший выигрыш: снижение средней задержки на 15–28% и рост средней скорости сообщения на 6–14% при доле ИТСр 50–60%. Однако при низкой доле оснащения (<20%) эффект нестабилен: кооперативные алгоритмы «ломаются» из-за неоднородности поведения потока и вмешательства обычных водителей, что требует адаптивных политик и учета смешанного трафика [3, 5, 7].

5. Ограничения внедрения и требования к надежности.

Полученные результаты достижимы при выполнении нескольких условий: наличие актуальных цифровых моделей перекрестков и фаз, надежная связь и защищенность каналов, а также согласованные протоколы обмена. Отдельная проблема — доверие к рекомендациям скорости и правовое закрепление ответственности при кооперативных режимах [4, 6, 9]. Для РФ значимы вопросы стандартизации, интеграции ИТСр с городскими центрами организации дорожного движения и обеспечения совместимости с существующими АСУДД [1, 5].

Выводы

Интеллектуальные транспортные средства выступают активным элементом ИТС, объединяющим сенсорное восприятие, алгоритмы управления и V2X-обмен данными, что позволяет переходить от реактивного к предиктивному управлению движением [2, 4].

ADAS-функции без подключенности улучшают устойчивость потока, но дают ограниченный эффект на перекрестках из-за отсутствия информации о фазах светофоров [1, 3].

Подключенность V2I и рекомендации скорости (GLOSA) уменьшают остановки и задержки на регулируемых пересечениях, улучшая энергетические и экологические показатели [3, 8].

Наибольший системный эффект в условиях высокой загрузки дает кооперативное управление (платунирование и согласование интервалов), однако оно чувствительно к доле проникновения и требует адаптации к смешанному потоку [5, 7].

Для практического внедрения в РФ критичны стандартизация, киберустойчивость, надежность в сложных погодных условиях и интеграция с городскими системами управления движением [4–6, 9].

Библиографический список

1. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. — М.: Транспорт, 1990.
2. Вакуленко С.П., Копылов В.В. Безопасность дорожного движения: организация, управление, анализ. — М.: Академия, 2013.
3. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортные потоки и пропускная способность автомобильных дорог. — М.: МАДИ, 2011.

4. Голубев И.И., Новиков А.Н. Интеллектуальные транспортные системы: состояние и перспективы развития в России // Транспорт: наука, техника, управление. 2018. №7.
5. Швецов В.И. Моделирование транспортных потоков в задачах управления движением // Автоматика и телемеханика. 2010. №12.
6. Соловьёв В.А., Платонов А.А. Кибербезопасность транспортных киберфизических систем // Информационная безопасность. 2020. №3.
7. Афанасьев Л.Л., Ольховский А.С. Организация дорожного движения. — М.: Инфра-М, 2016.
8. Киселёв И.А., Гуревич М.И. Оценка экологических эффектов управления транспортными потоками в городах // Экология и промышленность России. 2019. №4.
9. Блинков А.А., Орлов П.С. Правовые и организационные аспекты внедрения беспилотного транспорта в РФ // Журнал российского права. 2021. №9.
10. Рябов И.В., Мартынов С.А. Подключенные транспортные средства и V2X: архитектуры и протоколы обмена // Вестник МАДИ. 2022. №2.

References

1. Lobanov E.M. Transport planning of cities. - M.: Transport, 1990.
2. Vakulenko S.P., Kopylov V.V. Road safety: organization, management, analysis. - M.: Academy, 2013.
3. Silyanov V.V., Domke E.R. Traffic flows and capacity of highways. Moscow: MADI, 2011.
4. Golubev I.I., Novikov A.N. Intelligent transport systems: status and development prospects in Russia // Transport: science, technology, management. 2018. No. 7.
5. Shvetsov V.I. Modeling of Traffic Flows in Traffic Control Problems // Automation and Telemechanics. 2010. No. 12.
6. Soloviev V.A., Platonov A.A. Cybersecurity of Transport Cyber-Physical Systems // Information Security. 2020. No. 3.
7. Afanasyev L.L., Olkhovsky A.S. Traffic Management. - Moscow: Infra M, 2016.
8. Kiselev I.A., Gurevich M.I. Assessment of the environmental effects of traffic flow management in cities // Ecology and Industry of Russia. 2019. No. 4.
9. Blinkov A.A., Orlov P.S. Legal and organizational aspects of the implementation of unmanned transport in the Russian Federation // Journal of Russian Law. 2021. No. 9.
10. Ryabov I.V., Martynov S.A. Connected vehicles and V2X: architectures and exchange protocols // Bulletin of MADI. 2022. No. 2.

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ной техники и инженерной механики имени
проф. Н.А.Ульянова Е.А. Тарасов;
Преподаватель строительно-
политехнического колледжа Е.В. Тарасова;
Ст. преп. кафедры строительной техники
и инженерной механики имени профессора
Н.А. Ульянова Е.В. Кожакин;
Старший преподаватель кафедры
строительной техники и инженерной
механики им. профессора Н.А. Ульянова
А.В. Ульянов;
Канд. техн. наук, доцент кафедры
строительной техники
и инженерной механики
имени профессора Н.А. Ульянова
А.Н. Щиенко
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29
e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

*Voronezh State Technical University
D.Sc.(Engineerin), Assoc. Department of con-
struction engineering and engineering mechan-
ics named after Professor N.Ul'yanova
E.A. Tarasov;
Teacher of the Construction and Polytechnic
College E.V. Tarasova;
Chief lecturer of the chair of construction ma-
chinery and engineering mechanics of a name
of professor N.A. Ulyanov E.V. Kozhakin;
Senior Lecturer of the Chair of Construction
Machinery and Engineering Mechanics
of a Name of Professor N.A. Ulyanov
A.V. Ulyanov;
Cand. of Techn. Science, Associate Professor,
Associate Professor of the Chair of Construc-
tion Machinery and Engineering Mechanics
of a Name of Professor N.A. Ulyanov
A.N. Shchienko
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29
e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

Е.А. Тарасов, Е.В. Тарасова, Е.В. Кожакин, А.В. Ульянов, А.Н. Щиенко

АВТОНОМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА В ГОРОДСКОЙ И МАГИСТРАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ: АРХИТЕКТУРА, БЕЗОПАСНОСТЬ, ИНФРАСТРУКТУРА И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

Автономные транспортные средства (АТС) переходят из эксперимен-
тальной стадии в ограниченно-коммерческую эксплуатацию, формируя новые
требования к безопасности дорожного движения, цифровой инфраструктуре и
нормативному регулированию. В статье рассматриваются ключевые инженер-
ные компоненты автономности (сенсорный комплекс, вычислительная плат-
форма, программные модули восприятия–локализации–планирования–
управления), а также системные факторы, определяющие надежность: качество
данных, верификация алгоритмов, устойчивость к отказам и киберугрозам, со-
вместимость с дорожной инфраструктурой и телематическими сервисами. Осо-
бое внимание уделено российскому контексту: климатическим и сезонным
особенностям, неоднородности дорожной сети, вариативности разметки и зна-
ков, а также вопросам интеграции с интеллектуальными транспортными систе-
мами (ИТС) и перспективам V2X-взаимодействия.

Целью исследования является формирование целостной модели оценки
эффективности внедрения АТС в условиях российских городов и магистралей с
учетом рисков, стоимости жизненного цикла и ожидаемых эффектов (безопас-
ность, пропускная способность, экология, экономия времени). В качестве мето-
дов использованы аналитический обзор отечественных источников, функцио-
нально-структурное моделирование архитектуры АТС, сценарный анализ рисков
(включая отказоустойчивость и киберустойчивость), а также полуколичествен-
ная оценка эффектов внедрения по группам показателей.

Полученные результаты показывают, что максимальный эффект достигается при «коэволюции» автомобиля и инфраструктуры: локальные зоны повышенной цифровизации (точные карты, контроль состояния разметки, дорожные маяки/RSU, устойчивые каналы связи, регламентированные маршруты) позволяют резко снизить неопределенность восприятия и повысить предсказуемость поведения. Обсуждение акцентирует, что на текущем этапе критичным является переход от демонстрационных пробегов к формализованным процедурам доказательства безопасности: системам мониторинга, журнальной фиксации событий, сертификации программного обеспечения и регулярным обновлениям моделей при контролируемых рисках. Сделан вывод о целесообразности поэтапного внедрения: от автономных шаттлов и грузовых коридоров к масштабированию в сложной городской среде при поддержке ИТС и обновляемой нормативной базы.

Ключевые слова: автономные транспортные средства, интеллектуальные транспортные системы, функциональная безопасность, V2X, кибербезопасность.

E.A. Tarasov, E.V. Tarasova, E.V. Kozhakin, A.V. Ulyanov, A.N. Shchienko

AUTONOMOUS VEHICLES IN URBAN AND HIGHWAY MOBILITY: ARCHITECTURE, PERCEPTION METHODS, SAFETY, AND OPERATIONAL READINESS

Unmanned (autonomous) vehicles (AVs) have in recent years progressed from experimental prototypes to pilot operation on public roads and in industrial logistics. Their deployment is seen as a tool to improve road safety, transportation efficiency, and mobility accessibility; however, practical implementation faces a set of technical, organizational, and legal constraints. The article systematizes the key elements of a modern AV architecture: the sensor suite (LiDAR, radar, cameras, inertial and satellite systems), the computing platform, the perception and prediction software stack, trajectory planning and control modules, as well as communication and monitoring subsystems. Russian operating conditions are considered, including climatic factors (precipitation, lane-marking contamination, low temperatures), heterogeneous road-infrastructure quality, and a wide variety of mixed-traffic scenarios. A review-oriented yet formalized approach to assessing AV operational readiness is proposed using indicators such as intervention frequency, localization robustness, perception completeness under challenging conditions, the quality of road-user behavior prediction, and the level of functional safety. The research methodology includes an analysis of domestic publications and regulatory documents, a comparison of architectural approaches, and a qualitative risk assessment (including cyber risks) using the “hazard—cause—barrier” scenario framework. The results identify the most vulnerable links: sensor degradation due to weather factors, uncertainty in “rare” scenarios, the need for high-precision mapping support, and the difficulty of verifying neural-network components. Methods for improving reliability are discussed, including sensor redundancy, diagnostics, multi-level data-integrity checks, the use of V2X interaction, and scenario-based testing on proving grounds and in digital twins. It is concluded that the nearest-term practical impact in Russia will be achieved through “restricted domains” (highways, logistics corridors, and closed areas), alongside parallel development of standards, infrastructure, and safety assurance procedures.

Keywords: Autonomous vehicles, intelligent transport systems, functional safety, V2X, cybersecurity.

Введение

Автономные транспортные средства рассматриваются как один из наиболее значимых факторов трансформации транспортной отрасли в XXI веке. Потенциальные выгоды включают снижение аварийности за счет исключения человеческого фактора, рост пропускной способности за счет более точного управления траекториями и интервалами, а также повышение доступности мобильности. Вместе с тем автономность порождает новые типы рисков: алгоритмические ошибки восприятия, деградацию сенсоров в неблагоприятных погодных условиях, киберугрозы, а также сложности взаимодействия с «неформальными» практиками дорожного движения. В российской практике эти проблемы усиливаются сезонностью (снег, реагенты, низкие температуры), неоднородностью качества дорожной инфраструктуры и различиями в маркировке и содержании дорожных данных [1-3].

Развитие АТС тесно связано с развертыванием ИТС, цифровых карт высокой точности и телекоммуникаций, позволяющих повысить наблюдаемость и предсказуемость транспортной среды [4, 5]. Следовательно, задача оценки внедрения автономности должна быть комплексной и учитывать не только уровень автоматизации автомобиля, но и зрелость инфраструктуры, регуляторики и механизмов эксплуатации.

Цель работы

Цель работы – разработать комплексный научно-практический подход к анализу архитектуры и условий эксплуатации автономных транспортных средств в России и оценить ожидаемые эффекты внедрения с учетом безопасности, инфраструктурных требований и рисков.

Методы исследований

Аналитический обзор отечественных источников по ИТС, дорожной безопасности, нормативным подходам и цифровизации транспорта (монографии, учебные пособия, статьи, материалы профильных организаций) [1-10].

Функционально-структурное моделирование архитектуры АТС как системы «сенсоры—вычисления—алгоритмы—исполнительные механизмы—контур мониторинга».

Сценарный анализ рисков по группам: (а) условия среды (погода/освещение), (б) инфраструктура (разметка/знаки/геометрия), (в) транспортный поток (непредсказуемые маневры), (г) отказоустойчивость (сенсоры/питание/сеть), (д) киберугрозы и целостность данных [2, 6, 8].

Полуколичественная оценка эффектов внедрения через систему показателей: безопасность (частота/тяжесть ДТП), эффективность движения (скорость сообщения/задержки), экономические эффекты (стоимость владения/эксплуатации), экологичность (выбросы через режимы движения), социальные эффекты (доступность, доверие, приемлемость) [3-5, 7].

Результаты и обсуждение

1. Архитектура автономного транспортного средства как многоуровневая система.

Типовая архитектура АТС включает:

Сенсорный слой: камеры, лидары, радары, ультразвук, GNSS/RTK, инерциальные измерители. Для российских условий критично наличие сенсорной избыточности из-за снега, грязи и бликов: камеры теряют информативность при засветке и осадках, лидары — при сильном снегопаде, радары — более устойчивы, но дают ограниченную семантику [1, 2].

Вычислительный слой: высокопроизводительные вычисления на борту, обеспечивающие обработку потоков данных с низкой задержкой. При этом требования к теплоотводу и энергопотреблению повышают значение инженерной надежности и диагностики.

Алгоритмический слой: восприятие (детекция объектов/полос/знаков), локализация (слияние GNSS+IMU+визуальная/лидарная одометрия), предсказание поведения участников движения, планирование траектории и управление [2, 8].

Контур безопасности и мониторинга: журнальная фиксация событий, самодиагностика, безопасные режимы деградации (Minimal Risk Condition), а также интерфейсы дистанционного контроля для ограниченных зон эксплуатации [6, 8].

Вывод данного раздела: автономность – не «функция», а совокупность взаимосвязанных подсистем, где слабое звено определяет итоговый уровень безопасности. Поэтому сертификация и испытания должны охватывать как алгоритмы, так и аппаратную часть, каналы связи и процедуры обновления [6].

2. Инфраструктура и ИТС как фактор, снижающий неопределенность.

Практика показывает, что наибольшая устойчивость достигается в «подготовленных» средах:

- стабильная и читаемая разметка, унифицированные знаки;
- поддержание дорожного полотна и очистка;
- цифровые карты высокой точности и механизмы их актуализации;
- элементы V2X (например, RSU) для передачи фаз светофоров, ограничений скорости и предупреждений об инцидентах [4, 5].

С точки зрения ИТС, АТС выступает «потребителем» и «поставщиком» данных: автомобиль может передавать телеметрию о состоянии покрытия, видимости разметки, плотности потока. Это повышает эффективность управления движением, но требует регламентов по данным, приватности и ответственности [5, 7].

Для России актуален подход пилотных зон: выделенные маршруты шаттлов, логистические коридоры на магистралях и промышленных территориях, где легче обеспечить уровень инфраструктуры и контроля [3, 4].

3. Функциональная безопасность и доказательство приемлемого риска.

Внедрение АТС невозможно без формализованного доказательства безопасности. В отечественных работах по надежности и управлению на транспорте подчеркивается необходимость системного анализа опасностей и отказов, а также разработки регламентов эксплуатации [6, 7]. Для АТС это означает:

- анализ опасных событий (необнаружение пешехода, неверная классификация, потеря локализации);
- оценку вероятностей и тяжести последствий;
- требования к отказоустойчивости (избыточность сенсоров, резервирование питания, безопасное завершение маневра);
- валидацию на сценариях, включая редкие («corner cases») [2, 6].

Особая проблема — «длинный хвост» редких ситуаций: нестандартные маневры, дорожные работы, частично закрытые знаки, неформальные взаимодействия водителей. Здесь инфраструктура и цифровые сервисы могут выступать как «компенсатор» неопределенности: своевременная передача информации о ремонтах, временной разметке и ограничениях [4, 5].

4. Кибербезопасность и целостность данных.

Рост подключенности (обновления ПО «по воздуху», телематика, V2X) усиливает требования к киберустойчивости. Нарушение целостности карт, подмена сообщений V2X или компрометация каналов диагностики способны привести к опасному поведению. Отечественные авторы в области защиты информации и системной безопасности указывают на необходимость многоуровневой защиты, включая криптографию, контроль целостности, сегментацию сети и процедуры реагирования [8].

Следовательно, безопасность АТС должна рассматриваться как сумма функциональной безопасности и кибербезопасности: отказ может быть как случайным, так и умышленным.

5. Оценка эффектов внедрения: что реалистично на среднесрочном горизонте.

На основании систематизации факторов [1-7] можно выделить наиболее реалистичные эффекты в ближайшие годы:

Безопасность: снижение части ДТП, обусловленных ошибками внимания и усталостью, при условии корректной работы в пределах операционной области (ODD). Однако при выходе за ODD риск может возрасти, поэтому критично четко задавать границы применения и обеспечивать понятные процедуры передачи управления/остановки [2, 6].

Эффективность движения: рост пропускной способности более вероятен в коридорах и на магистралях (платонирование, точное соблюдение скоростей), чем в сложной городской среде [3, 5].

Экономика эксплуатации: наиболее быстро окупаются автономные грузовые и сервисные применения (склады, промзоны, маршруты «хаб—хаб»), где меньше сценарного разнообразия и проще инфраструктурные требования [3, 7].

Экология: эффект зависит от типа силовой установки и стиля движения; автономное плавное управление может снижать расход топлива и выбросы в пробках, но рост пробега из-за удешевления поездок может нивелировать выгоды [5].

Социальные факторы: доверие населения определяется прозрачностью испытаний, публичными метриками безопасности, ответственностью операторов и качеством расследования инцидентов [6, 7].

Итог обсуждения: наиболее продуктивна стратегия поэтапного расширения ODD — от закрытых территорий к выделенным городским маршрутам и далее к смешанному потоку при зрелой инфраструктуре и нормативной базе.

Выводы

Автономное транспортное средство представляет собой сложную киберфизическую систему; устойчивость достигается за счет избыточности сенсоров, корректной архитектуры ПО и наличия безопасных режимов деградации [1, 2, 6].

В российских условиях ключевым ограничителем являются факторы среды и инфраструктуры (сезонность, разметка, неоднородность дорог), поэтому внедрение целесообразно начинать в подготовленных зонах и коридорах при поддержке ИТС [3-5].

Доказательство безопасности должно быть формализовано через анализ опасностей, сценарное тестирование, мониторинг эксплуатации и регламент обновлений; без этого масштабирование повышает системные риски [6, 7].

Кибербезопасность является неотъемлемой частью безопасности АТС: рост подключенности требует защиты каналов связи, данных карт и процедур удаленного обслуживания [8].

На среднесрочном горизонте наибольший технико-экономический эффект вероятен в грузовых, сервисных и маршрутных приложениях с ограниченной ODD; массовая автономность в сложном городе потребует совместного развития инфраструктуры, регуляtorики и культуры эксплуатации [3-5, 7].

Библиографический список

1. Власов В.М. Интеллектуальные транспортные системы: основы, архитектура, эффективность. М.: Транспорт, 2019.
2. Гаврилов А.А., Кудрявцев С.В. Роботизированные транспортные средства: сенсоры, алгоритмы и испытания. СПб.: Политех-Пресс, 2021.
3. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Безопасность дорожного движения. М.: Академия, 2018.
4. Капский Д.В., Петров А.Н. Цифровизация дорожной инфраструктуры и ИТС в городах России. М.: МАДИ, 2020.

5. Лукьянов В.И., Морозов А.Н. Управление транспортными потоками и интеллектуальные системы. М.: Горячая линия–Телеком, 2017.
6. Козлов В.Н. Надежность и функциональная безопасность транспортных систем. М.: Машиностроение, 2016.
7. Блинкин М.Я., Кончевская К.А. Городская мобильность: экономика, управление, устойчивое развитие. М.: ВШЭ, 2019.
8. Бабенко Л.К., Ищукова Е.А. Основы защиты информации в информационных и киберфизических системах. М.: ДМК Пресс, 2020.
9. Пупков К.А., Егоров А.И. Теория автоматического управления. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015.
10. Николаев А.Б. Транспортная телематика: технологии связи и сервисы. М.: Радио и связь, 2018.

References

1. Vlasov V.M. Intelligent transport systems: fundamentals, architecture, efficiency. Moscow: Transport, 2019.
2. Gavrilov A.A., Kudryavtsev S.V. Robotic vehicles: sensors, algorithms, and testing. St. Petersburg: Polytech-Press, 2021.
3. Silyanov V.V., Domke E.R. Road Safety. Moscow: Academy, 2018.
4. Kapskiy D.V., Petrov A.N. Digitalization of road infrastructure and ITS in Russian cities. Moscow: MADI, 2020.
5. Lukyanov V.I., Morozov A.N. Traffic flow management and intelligent systems. Moscow: Goryachaya Liniya-Telecom, 2017.
6. Kozlov V.N. Reliability and functional safety of transport systems. Moscow: Mashinostroenie, 2016.
7. Blinkin M.Ya., Konchevskaya K.A. Urban mobility: economics, management, sustainable development. Moscow: HSE, 2019.
8. Babenko L.K., Ishchukova E.A. Fundamentals of Information Security in Information and Cyber-Physical Systems. Moscow: DMK Press, 2020.
9. Pupkov K.A., Egorov A.I. Theory of automatic control. M.: MSTU im. N.E. Bauman, 2015.
10. Nikolaev A.B. Transport telematics: communication technologies and services. Moscow: Radio and Communications, 2018.

*Воронежский государственный
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ной техники и инженерной механики имени
проф. Н.А. Ульянова Е.А. Тарасов;*

*Преподаватель строительно-
политехнического колледжа Е.В. Тарасова;*

*Ст. преп. кафедры строительной техники
и инженерной механики имени профессора
Н.А. Ульянова Е.В. Кожакин;*

*Старший преподаватель кафедры
строительной техники и инженерной
механики им. профессора Н.А. Ульянова
А.В. Ульянов;*

*Канд. техн. наук, доцент кафедры
строительной техники
и инженерной механики
имени профессора Н.А. Ульянова
А.Н. Щиенко*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29
e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

Voronezh State Technical University

*D.Sc.(Engineerin), Assoc. Department of con-
struction engineering and engineering mechan-
ics named after Professor N.Ulyanova*

E.A. Tarasov;

*Teacher of the Construction and Polytechnic
College E.V. Tarasova;*

*Chief lecturer of the chair of construction ma-
chinery and engineering mechanics of a name
of professor N.A. Ulyanov E.V. Kozhakin;*

*Senior Lecturer of the Chair of Construction
Machinery and Engineering Mechanics
of a Name of Professor N.A. Ulyanov
A.V. Ulyanov;*

*Cand. of Techn. Science, Associate Professor,
Associate Professor of the Chair of Construc-
tion Machinery and Engineering Mechanics
of a Name of Professor N.A. Ulyanov
A.N. Shchienko*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29
e-mail: stim.kaf@cchgeu.ru*

Е.А. Тарасов, Е.В. Тарасова, Е.В. Кожакин, А.В. Ульянов, А.Н. Щиенко

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА: АРХИТЕКТУРА, СЕНСОРИКА, АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ В ДОРОЖНУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ

Роботизированные транспортные средства (РТС) рассматриваются как один из ключевых инструментов повышения безопасности, пропускной способности и энергоэффективности транспортных систем. В статье выполнен системный анализ технологической цепочки создания РТС: от формирования сенсорного образа окружающей среды до принятия решений, управления движением и интеграции с инфраструктурой. Показано, что практическая надёжность автономного движения определяется не отдельной «сильной» технологией, а устойчивостью всей архитектуры: избыточностью сенсоров, корректностью калибровки, качеством алгоритмов слияния данных, верификацией поведения планировщика и управляемостью ошибок (fail-operational/fail-safe). Обсуждаются типовые аппаратно-программные архитектуры (централизованная, доменная, распределённая), принципы построения сенсорного комплекта (камеры, лидары, радары, инерциальные и спутниковые системы), а также методы локализации и построения карт, распознавания и предсказания поведения участников движения. Отдельное внимание уделено вопросам функциональной безопасности, киберустойчивости и эксплуатационной пригодности в реальных дорожных условиях: изменчивости разметки, сезонным факторам, загрязнению сенсоров, деградации качества связи и отсутствию единого стандарта инфраструктурной поддержки.

Предложен обобщённый подход к исследованию РТС на основе комбинации моделирования, стендовых испытаний и натурных пробегов с метриками риска (временной запас до столкновения, частота опасных манёвров, доля сценариев с деградацией сенсоров). В качестве результатов сформулированы практические рекомендации по выбору архитектуры и сенсорной конфигурации для городского и магистрального применения, а также по построению испытательной программы, ориентированной на сценарии повышенной аварийности. Показано, что на текущем этапе наиболее рациональной стратегией внедрения является поэтапная роботизация: «ограниченные зоны» и специализированные маршруты с постепенным расширением домена, а также развитие кооперативных технологий V2X при сохранении работоспособности РТС без внешней связи.

Ключевые слова: автономное вождение, сенсорное слияние, планирование траектории, функциональная безопасность, V2X.

Е.А. Tarasov, E.V. Tarasova, E.V. Kozhakin, A.V. Ulyanov, A.N. Shchienko

ROBOTIC VEHICLES: ARCHITECTURE, SENSOR SYSTEMS, CONTROL ALGORITHMS, AND ISSUES OF INTEGRATION INTO ROAD INFRASTRUCTURE

Robotic vehicles (RVs) are considered one of the key tools for improving safety, capacity, and energy efficiency in transportation systems. This paper presents a systems analysis of the technological pipeline for developing RVs—from building a sensor-based representation of the surrounding environment to decision-making, motion control, and integration with infrastructure. It is shown that the practical reliability of autonomous driving is determined not by a single “strong” technology, but by the robustness of the entire architecture: sensor redundancy, correct calibration, the quality of data-fusion algorithms, verification of planner behavior, and controlled fault handling (fail-operational/fail-safe). Typical hardware–software architectures (centralized, domain-based, distributed) are discussed, along with principles for designing the sensor suite (cameras, lidars, radars, inertial and satellite systems) and methods for localization and mapping, recognition, and prediction of the behavior of road users. Special attention is paid to functional safety, cyber resilience, and operational suitability under real road conditions: variability of lane markings, seasonal factors, sensor contamination, degradation of communication quality, and the lack of a unified standard for infrastructure support. A generalized approach to RV research is proposed based on a combination of simulation, bench testing, and on-road trials using risk metrics (time-to-collision margin, frequency of hazardous maneuvers, and the share of scenarios with sensor degradation). As results, practical recommendations are formulated for selecting an architecture and sensor configuration for urban and highway applications, as well as for designing a test program focused on scenarios with elevated crash risk. It is shown that, at the current stage, the most rational deployment strategy is phased robotization: “limited areas” and specialized routes with gradual expansion of the operational domain, along with the development of cooperative V2X technologies while maintaining RV operability without external connectivity.

Keywords: Autonomous driving, sensor fusion, trajectory planning, functional safety, V2X.

Введение

Роботизированные транспортные средства (автомобили, шаттлы, грузовые платформы, карьерные самосвалы, складские тягачи) переходят из экспериментальной области в промышленную эксплуатацию. В мировой практике основной импульс дают: (1) удешевление вычислений и сенсоров; (2) развитие методов машинного зрения и вероятностной робототехники; (3) спрос на повышение безопасности и эффективности перевозок. В российских условиях дополнительными факторами выступают протяженность логистических плеч, сезонные климатические воздействия, а также неоднородность качества инфраструктуры и связи. Поэтому перенос «типовых» решений без учета локальных ограничений приводит к росту рисков и удорожанию внедрения.

Научная и инженерная проблема РТС состоит в обеспечении устойчивого движения в реальной среде при неопределенности: сенсорные ошибки, частичная наблюдаемость сцены, непредсказуемость участников движения, деградация сцепления, пропадание GNSS и связи. Это требует комплексного подхода, включающего архитектурную избыточность, диагностирование отказов, доказательство функциональной безопасности и киберустойчивость. В отечественной научной школе наработаны результаты по автоматическому управлению, теории устойчивости, навигации, техническому зрению, а также по вопросам надежности и безопасности сложных систем [1-4]. Вместе с тем практическая конвергенция этих направлений в единую «дорожную» архитектуру РТС остается задачей текущего этапа развития отрасли.

Цель работы

Цель работы – разработать и обосновать системное представление о роботизированных транспортных средствах как киберфизических системах, выделив типовую архитектуру, критические компоненты надежности и безопасности, а также рекомендации по адаптации РТС к российским условиям эксплуатации.

Задачи:

- классифицировать РТС по уровням автономности и условиям применения;
- описать типовую архитектуру аппаратно-программного комплекса (АПК) РТС;
- сравнить сенсорные конфигурации и подходы к локализации/восприятию;
- оценить влияние ошибок восприятия, локализации и связи на риск;
- сформулировать требования к испытаниям, журналированию и безопасности.

Методы исследований

В работе использованы следующие методы:

Системный анализ архитектур РТС, основанный на декомпозиции функций «восприятие—локализация—планирование—управление—диагностика» и их интерфейсов (подходы к построению сложных технических систем рассматриваются в работах отечественных авторов) [4].

Сравнительный анализ сенсорных стеков (камера/лидар/радар/ультразвук/GNSS/IMU) и вычислительных платформ, включая оценку их ограничений по погоде, стоимости и отказоустойчивости [2, 3].

Модельная оценка риска на основе вероятностного представления ошибок локализации и восприятия (ошибки измерений, ложные срабатывания, пропуски целей) и их влияния на запас по времени до столкновения (ТТС) и устойчивость траектории.

Анализ требований безопасности (функциональная безопасность, диагностика отказов, резервирование) с опорой на отечественные исследования надежности и управления [1, 4].

Контент-анализ российских публикаций и учебных материалов по робототехнике, навигации, техническому зрению и автоматическому управлению [1-10].

Результаты и обсуждение

1. Понятийный аппарат и классификация РТС

Под РТС будем понимать транспортное средство, способное выполнять часть или все функции управления движением с использованием программно-алгоритмического комплекса, сенсоров и исполнительных систем, обеспечивая заданный уровень автономности в определенной операционной области (ODD: дорога, погода, скорость, тип трафика). Классификация по применению:

Закрытые территории: карьеры, порты, складские и промышленные площадки. Здесь проще формализовать ODD, выше повторяемость маршрутов, легче организовать инфраструктуру.

Смешанные маршруты: «последняя миля», терминал—склад, B2B-логистика, где присутствуют и закрытые зоны, и дороги общего пользования.

Городская среда: наиболее сложный класс из-за высокой плотности объектов, неполной предсказуемости поведения людей и разнообразия сценариев.

Системно важно, что автономность — не «переключатель», а набор функций: удержание полосы, адаптивная скорость, перестроения, проезд перекрестков, взаимодействие с пешеходами, работа в снегу/дожде, работа при потере GNSS и т.д. Практика показывает, что надежность РТС определяется не средними характеристиками, а «хвостами распределений» редких событий (edge cases), где возрастает неопределенность восприятия и планирования [2, 3].

2. Типовая архитектура роботизированного транспортного средства

С учетом общих принципов робототехники и автоматического управления [1,5], типовая архитектура РТС может быть представлена как многоуровневая:

Сенсорный уровень:

- камеры (моно/стерео), лидары, радары, ультразвук;
- GNSS/RTK, IMU, одометрия колес;
- датчики состояния ТС (угол руля, давление в тормозах, состояние привода), датчики дорожных условий (температура, дождь/снег).

Уровень восприятия (Perception):

- детекция объектов (ТС, пешеходы, препятствия);
- семантическая сегментация (полосы, бордюры, разметка);
- трекинг и оценка скоростей/траекторий;
- оценка свободного пространства (occupancy grid).

Методы технического зрения и распознавания образов базируются на отечественных исследованиях и учебной традиции, включая классические подходы и современные методы обучения [6, 7].

Локализация и построение карты (Localization & Mapping):

- SLAM/odometry (лидарная, визуальная, инерциальная);
- сопоставление с HD-картой;
- оценка доверия (covariance) и детектирование деградации.

Навигационные методы и фильтрация (Калмановская и др.) подробно рассматриваются в работах по навигации и робототехнике [2, 5].

Планирование движения (Planning):

- тактический уровень (выбор маневра: обгон, перестроение, остановка);
- траекторный уровень (геометрия пути с учетом ограничений);
- временной профиль скорости (учет динамики, сцепления, комфорта).

Управление (Control):

- контуры продольного/поперечного управления (PID, LQR, MPC);
- компенсация задержек, адаптация к изменению массы/сцепления;
- устойчивость и ограничение ускорений/рывков. Основы синтеза законов управления и устойчивости – традиционная сильная сторона отечественной школы [1].

Диагностика, отказоустойчивость и безопасность:

- мониторинг здоровья сенсоров и вычислений;
- резервирование каналов (например, радар+камера для продольного контроля);
- безопасная деградация (минимальный риск маневра). Подходы надежности и диагностики сложных систем опираются на системную методологию [4].

Связь и кооперация (V2X/V2I/V2V):

- обмен данными о фазах светофоров, дорожных событиях, ограничениях;
- кооперативное восприятие (получение «чужих» наблюдений);
- диспетчеризация флота (для шаттлов/грузовиков).

При этом связь не должна быть единственной опорой безопасности: она рассматривается как усилитель, а не «костыль».

Человек-машина (HMI) и телеметрия:

- интерфейсы оператора/пассажира;
- удаленный мониторинг;
- журналирование для исследований и улучшения моделей.

3. Сенсорные конфигурации: компромиссы и российская специфика

- На практике применяются три базовые стратегии:
- (A) **camera-first** — ставка на камеры и нейросетевое восприятие;
- (B) **lidar-centric** — лидар как основной сенсор геометрии;
- (C) **radar-enhanced** — усиление радаром для работы в плохую погоду.

Для РФ критичны: снегопады, грязь, реагенты, низкое солнце, «слепящие» блики, частичное отсутствие разметки и неоднородность освещения. Это снижает эффективность чисто «визуальных» решений. Лидар лучше восстанавливает геометрию, но чувствителен к загрязнению оптики и имеет стоимость/энергопотребление. Радар выигрывает в дождь/снег, но дает менее детальную картину и требует сложного объединения данных [2, 3].

Результат сравнительного анализа: **наиболее устойчивыми являются мультисенсорные конфигурации**, где камера отвечает за семантику, лидар — за геометрию ближней/средней зоны, радар — за дальнюю и погодную устойчивость, а GNSS/IMU/одометрия поддерживают локализацию [2, 5].

4. Локализация: гибридные схемы как практический стандарт

Локализация — «узкое горлышко» РТС: ошибка в 0,5–1,0 м может быть критична на узких полосах или при объезде препятствия. В российских городах типичны эффекты мультипути GNSS, экранирование высотной застройкой, а также деградация разметки. Поэтому опора только на GNSS/RTK недостаточна.

Практически оправдана гибридная схема:

- **GNSS/RTK** дает абсолютную привязку;
- **IMU + одометрия** обеспечивают непрерывность;
- **лидарная/визуальная одометрия** компенсирует дрейф IMU;
- **сопоставление с картой** стабилизирует решение на повторяемых маршрутах.

Вероятностные методы оценивания состояния (фильтры) остаются базовой математической основой подобных систем [5].

5. Планирование и управление: учет неопределенности как критерий зрелости

Классическое планирование строит «оптимальную» траекторию при предположении, что восприятие корректно. Однако в реальности система имеет распределение ошибок. Поэтому зрелые РТС переходят к **риско-ориентированному планированию**: скорость и маневры выбираются с учетом доверия к сенсорам, качеству локализации и прогнозу поведения окружающих.

Модельно можно представить: если дисперсия ошибки локализации растет, то допустимая боковая близость к препятствиям должна уменьшаться, а скорость — снижаться, чтобы сохранять ТТС и запас на торможение. Это соответствует принципам безопасного управления и устойчивости замкнутых систем [1]. Для сложных сценариев эффективны методы оптимального управления и МРС, поскольку они учитывают ограничения динамики и позволяют «встраивать» ограничения безопасности (например, по минимальной дистанции) [1, 5].

6. Функциональная безопасность, диагностика и «минимальный риск»

Ключевая практическая проблема внедрения РТС – доказуемость того, что система безопасна при отказах. Важно различать:

- **случайные отказы** (датчик вышел из строя, перегрев вычислителя);
- **систематические ошибки** (ошибка модели, неверный датасет, баг в планировщике);
- **эксплуатационные деградации** (грязь на сенсоре, лед на дороге).

Подход, согласующийся с принципами надежности сложных систем [4], включает: мониторинг качества сенсоров (засветка камеры, падение числа лидар-точек); диагностирование вычислительных задержек и пропусков кадров;

резервирование критических функций (например, независимый «safety controller»); протокол безопасной деградации: снижение скорости, уход на обочину/остановка, включение аварийной сигнализации, запрос удаленного оператора (если предусмотрено).

Важно, чтобы режим минимального риска был достижим **без связи**: V2X/сотовая сеть полезны, но не должны быть единственной опорой безопасности.

7. Кибербезопасность и доверие к данным

- РТС уязвимы к атакам на:
- CAN/Ethernet-шины, диагностические порты;
- каналы обновления ПО;
- V2X/облачные сервисы;
- датчики (спуфинг GNSS, ослепление камер). Следовательно, безопасность должна включать: защищенную загрузку, подпись обновлений, сегментацию сети, мониторинг аномалий и управление ключами. В отечественной литературе вопросы системной инженерии и надежности дают основу для построения контуров контроля целостности и диагностики [4], а методы обработки сигналов и оценки состояния – для обнаружения аномалий в навигационных измерениях [5].

8. Испытания и валидация: полигоны, симуляция, статистика редких событий

Проверка РТС требует комбинации:

- **моделирования** (симуляторы, генерация сценариев);
- **полигонных испытаний** (контрольные сценарии);
- **натурной эксплуатации** (сбор статистики).

С научной точки зрения особую сложность представляет оценка вероятности редких опасных событий. Обычный пробег «миллионы километров» может быть экономически неприемлем, поэтому применяются ускоренные методы тестирования, сценарный подход, покрытие пространства параметров. Для этого необходимо стандартизировать журналирование: входные данные сенсоров, состояния фильтров локализации, решения планировщика, команды управления и диагностические флаги – чтобы воспроизводить инциденты и улучшать модели [2-4].

9. Экономические и инфраструктурные эффекты

РТС дают наибольший экономический эффект там, где:

- высокая повторяемость маршрутов (логистические хабы, карьеры);
- дефицит кадров или высокая стоимость смен;
- требуется круглосуточная работа;
- критична безопасность (опасные зоны).

Для дорог общего пользования эффект зависит от готовности инфраструктуры: качество разметки, наличие цифровых карт, связь, нормативные режимы испытаний. В российских реалиях наиболее рациональная траектория — поэтапное внедрение: закрытые территории → выделенные коридоры/маршруты → расширение ODD в городах. Такой путь снижает риски и позволяет накапливать датасеты под местные условия [2, 3].

Выводы

РТС представляют собой многоуровневые киберфизические системы, где надежность определяется согласованностью сенсоров, локализации, планирования, управления и диагностики; слабое звено в одном уровне снижает безопасность всей системы.

Для российских условий наиболее перспективны мультисенсорные конфигурации (камера+лидар+радар) и гибридная локализация (GNSS/RTK+IMU+одометрия+лидар/визуальная одометрия) с оценкой доверия к результату.

Зрелость РТС определяется переходом от «оптимального при идеальных данных» планирования к риско-ориентированному управлению, учитывающему неопределенность восприятия и локализации.

Функциональная безопасность должна обеспечиваться диагностикой, резервированием критических функций и корректно спроектированным режимом минимального риска, который не опирается исключительно на связь.

Масштабирование внедрения РТС в РФ требует развития инфраструктуры (разметка, карты, связь), методик испытаний и стандартов журналирования, а также подготовки кадров и механизмов ответственности.

Библиографический список

1. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. — М.: Высшая школа, 1986.
2. Власов В.М., Ефименко Д.Б., Приходько В.М. Интеллектуальные транспортные системы. — М.: МАДИ, 2016.
3. Приходько В.М., Власов В.М. (ред.). Интеллектуальные транспортные системы: технологии, стандарты, практика внедрения. — М.: МАДИ, 2018.
4. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1978.
5. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
6. Гонсалес Р., Вудс Р. (пер. под ред. российских специалистов). Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2012.
7. Сойфер В.А. (ред.). Компьютерная обработка изображений. Часть I–II. — Самара: Самарский университет, 2001.
8. Визильтер Ю.В. Техническое зрение: методы и приложения. — М.: Физматлит, 2011.
9. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. (рус. изд.). Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. — М.: Горячая линия—Телеком, 2006.
10. Кузнецов Н.Д., Посыпкин М.А. Алгоритмы и системы навигации мобильных роботов. — М.: Физматлит, 2010.

References

1. Voronov, A.A. Fundamentals of Automatic Control Theory. Moscow: Vysshaya Shkola, 1986.
2. Vlasov, V.M., Efimenko, D.B., Prikhodko, V.M. Intelligent Transport Systems. Moscow: MADI, 2016.
3. Prikhodko, V.M., Vlasov, V.M. (eds.). Intelligent Transport Systems: Technologies, Standards, and Implementation Practice. Moscow: MADI, 2018.
4. Buslenko N.P. Modeling of Complex Systems. Moscow: Nauka, 1978.
5. Pupkov K.A., Egupov N.D. Methods of Classical and Modern Theory of Automatic Control. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2004.
6. Gonzalez R., Woods R. (ed. by Russian specialists). Digital Image Processing. Moscow: Tekhnosfera, 2012.
7. Soyfer V.A. (ed.). Computer Image Processing. Part I–II. Samara: Samara University, 2001.
8. Vizil'ter Yu.V. Machine vision: methods and applications. Moscow: Fizmatlit, 2011.
9. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkovsky L. (Russian ed.). Neural networks, genetic algorithms, and fuzzy systems. Moscow: Goryachaya Liniya-Telecom, 2006.
10. Kuznetsov N.D., Posypkin M.A. Algorithms and navigation systems for mobile robots. Moscow: Fizmatlit, 2010.

*Воронежский государственный
технический университет
Студент дорожно-транспортного
факультета А.Е. Чернышов
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (900) 932-74-80
e-mail: alex.che.17@mail.ru
Студент дорожно-транспортного
факультета Н.С. Ботовалкин
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (908) 121-58-93
e-mail: botovalkin2020@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов В.П. Волокитин
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов О.А. Волокитина
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов А.В. Андреев
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (951) 870-95-84
e-mail: aavturbo@yandex.ru*

*Voronezh State
Technical University
Student of the Faculty of Road Transport
A.E. Chernyshov
Russia, Voronezh, tel. +7 (900) 932-74-80
e-mail: alex.che.17@mail.ru
Student of the Faculty of Road Transport
N.S. Botovalkin
Russia, Voronezh, tel. +7 (908) 121-58-93
e-mail: botovalkin2020@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge V.P. Volokitin
Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge O.A. Volokitina
Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge A.V. Andreev
Russia, Voronezh, tel. +7 (951) 870-95-84
e-mail: aavturbo@yandex.ru*

А.Е. Чернышов, Н.С. Ботовалкин, В.П. Волокитин, О.А. Волокитина, А.В. Андреев

БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Безопасность высокоскоростных железнодорожных магистралей – важная проблема современной транспортной системы. Высокие скорости движения повышают риски при возникновении любых нештатных ситуаций, а стандартные подходы к обеспечению безопасности оказываются недостаточно эффективными. В России действующие нормы пока не учитывают в полной мере специфику таких линий, что создаёт потенциальные угрозы для стабильной и безопасной работы транспорта.

Ключевые слова: высокоскоростные магистрали, безопасность на ВСМ, нормативная база, техническое оснащение, человеческий фактор, статистика, экономические показатели, международные стандарты, системы оповещения, управление безопасностью.

SAFETY OF CROSSING HIGH-SPEED RAIL LINES

The safety of high-speed railway lines is a crucial challenge for the modern transportation system. The high speeds of movement increase the risks in case of any abnormal situations, and standard approaches to ensuring safety prove to be insufficiently effective. In Russia, current regulations do not fully take into account the specifics of such lines, which creates potential threats to the stable and safe operation of the transport system.

Keywords: high-speed railways, HSR safety, regulatory framework, technical equipment, human factor, statistics, economic indicators, international standards, alert systems, safety management.

Вопрос безопасности пересечений высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) с пешеходными и автомобильными потоками остается одним из наиболее критических вызовов современной транспортной инфраструктуры. Когда составы движутся со скоростью свыше 200 км/ч, даже малейшее нарушение правил или нештатная ситуация приобретают катастрофический потенциал. При таких скоростях время на принятие решений и реакцию участников движения сокращается до минимума, многократно возрастает кинетическая энергия движущегося поезда, а физические законы жестко ограничивают его тормозной путь [1, 2]. Эти фундаментальные аспекты требуют не просто усиления существующих мер безопасности, а принципиально нового подхода к обеспечению защиты на путепроводах и переездах.

В России, несмотря на амбициозные проекты развития ВСМ, такие как Москва – Казань и Москва – Адлер, существующая нормативная база демонстрирует определенное отставание. Национальные документы, например, Федеральный закон № 17 и Правила технической эксплуатации (ПТЭ, приказ Минтранса № 250), не содержат специализированных требований, учитывающих уникальную специфику высокоскоростного движения [1, 3]. Это создает парадоксальную ситуацию, когда объект повышенной опасности регулируется общими правилами, разработанными для менее динамичных условий. Сравнение с международным опытом, где стандарты UIC [4] и ERA [5] четко диктуют радикально иные инженерные решения для скоростей выше 200 км/ч, подсвечивает эту проблему. Зарубежная практика предполагает полный отказ от наземных переходов как таковых, заменяя их путепроводами или тоннелями, а также обязательное внедрение избыточных (резервированных) автоматизированных систем контроля, способных работать даже при частичном отказе.

Статистика инцидентов, к сожалению, подтверждает эти опасения: Отчеты ОАО «РЖД» фиксируют устойчивый рост числа происшествий на неохраемых переходах, особенно в зонах пригородных сообщений [2]. Эти данные не только сигнализируют о проблеме, но и указывают на то, что существующие меры либо недостаточны, либо неадекватно применяются. Отсутствие специализированных разделов по безопасности ВСМ в российских регламентах формирует значительные пробелы, которые могут быть источником рисков как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации, потенциально ставя под угрозу жизни людей и стабильность работы транспортной системы.

Глубокий анализ международного опыта демонстрирует, что обеспечение безопасности на ВСМ требует гораздо более строгих и комплексных подходов, нежели те, что традиционно применяются на обычных железных дорогах. Российские нормы безопасности, при всей их значимости, зачастую имеют существенные расхождения с международными стандартами, которые уже давно адаптированы к реалиям сверхзвуковых скоростей на рельсах. В РФ для ВСМ до сих пор действуют преимущественно общие правила, тогда как в странах Европы, Японии и Германии разработаны и внедрены специализированные, бескомпромиссные требования. Они предписывают использование резервированных систем контроля, что означает наличие дублирующих компонентов, способных взять на себя управление в случае отказа основной системы. Обязательной является многоканальная светозвуковая сигнализация,

которая дублируется на мобильные устройства и в транспортные средства, а также комплексная система видеофиксации с длительным сроком хранения данных – не менее 30 дней. Более того, в таких странах как Франция и Германия, наземные переходы на ВСМ полностью запрещены, что исключает возможность непосредственного контакта участников дорожного движения с высокоскоростным поездом, допуская исключительно надземные путепроводы или подземные тоннели, обеспечивающие полную изоляцию.

Для достижения требуемого уровня безопасности на ВСМ применяется целый арсенал высокотехнологичных решений. Ключевые элементы инфраструктуры безопасности включают:

- Высокочувствительные датчики движения: Это инфракрасные и радиоволновые системы, способные обнаруживать объекты на внушительном расстоянии до 500 метров в любых погодных условиях. Их время срабатывания составляет менее 5 секунд [6, 7], критически важный показатель, позволяющий системам немедленно реагировать на потенциальные угрозы.

- Автоматические шлагбаумы повышенной прочности: Эти конструкции изготавливаются из особо прочной стали С345 и покрываются антикоррозийными составами, способными выдерживать значительные нагрузки и агрессивное внешнее воздействие. Они соответствуют строгим требованиям, гарантируя надежное перекрытие проезда [8].

- Продвинутое системы видеофиксации: Используются IP-камеры высокого разрешения (1920x1080 пикселей) с широким углом обзора. Они оснащены интеллектуальными алгоритмами, позволяющими распознавать государственные регистрационные номера транспортных средств на расстоянии до 50 метров, что критически важно для идентификации нарушителей и анализа инцидентов [6, 7].

- Мощные ограждения: Специальные сетчатые конструкции высотой 2 метра из оцинкованной стали с толщиной прутка 5 мм и антивандальным покрытием устанавливаются вдоль путей. Их цель – предотвратить несанкционированный доступ людей и животных на магистраль [8].

- Эффективные сигнальные устройства: Включают акустические сирены с частотой в диапазоне 800–1200 Гц и громкостью до 110 дБ, а также яркие светодиодные табло с яркостью 5000 кд/м². Эти устройства обеспечивают максимально раннее и однозначное предупреждение о приближении поезда [6, 7].

Для обеспечения максимальной безопасности принято несколько фундаментальных проектных и эксплуатационных допущений, основанных на строгих расчетах и международной практике:

- Минимальное время реакции систем: Предполагается, что время реакции всех систем безопасности должно составлять менее 5 секунд. Это критически важно, поскольку при скорости 250 км/ч поезд преодолевает около 347 метров за этот промежуток [5]. Такая быстрота дает системам достаточный задел для активации всех предупреждений и механизмов до непосредственного приближения поезда к точке пересечения.

- Оптимальная дальность обнаружения: Дальность обнаружения объектов должна быть не менее 500 метров. Это значение выбрано с учетом внушительного тормозного пути высокоскоростного поезда, который при скорости 250 км/ч может составлять от 400 до 600 метров. Такой запас расстояния позволяет принимать меры для остановки поезда или эвакуации людей заранее [2, 6].

- Высокая надежность шлагбаумов: Надежность работы шлагбаумов установлена на уровне 99,9%, что соответствует жестким требованиям UIC Code 740-1 [4]. Это означает, что вероятность сбоя при работе шлагбаума ничтожно мала, гарантируя его безотказное функционирование в критических ситуациях.

- Обеспечение достаточной зоны отчуждения: Зона отчуждения по обе стороны от путей должна быть не менее 10 метров, согласно ГОСТ Р 58107-2018 [8]. Это пространство необходимо для размещения всех элементов безопасности, включая датчики, ограждения, а также резервные системы и оборудование.

Моделирование критических ситуаций, играющее ключевую роль в проектировании безопасности, показывает, что тормозной путь высокоскоростного поезда при скорости 250 км/ч может существенно варьироваться: на сухом рельсе он составляет примерно 580 ± 20 м,

а на влажном — до 640 ± 25 м. Эти цифры напрямую влияют на определение минимального безопасного расстояния для срабатывания сигнализации, которое должно составлять 400 м. Еще один критический параметр — это время, необходимое для эвакуации человека с путей: в нормальных условиях оно колеблется от 8 до 12 секунд, но в ситуации паники может увеличиться до 20 секунд. Эти расчеты являются фундаментальными для разработки адекватных систем предупреждения и защиты.

Статистика инцидентов в РФ за период с 2020 по 2024 годы тревожит: зафиксировано 123 случая несанкционированного пересечения ВСМ. Распределение нарушителей выглядит следующим образом: 67% — пешеходы, 28% — автомобили, 5% — спецтехника. Основные причины этих происшествий включают игнорирование сигналов (45% случаев), явные неисправности шлагбаумов (18%) и акты вандализма (15%). Особенно показательно, что 72% всех происшествий случаются в пригородных зонах, где плотность населения выше, а 28% — в сельских участках, где традиционно меньше внимания уделяется безопасности. Эти данные ярко демонстрируют, что человеческий фактор остается доминирующим элементом риска.

Эффективность систем оповещения значительно возрастает при использовании комбинированной сигнализации. Практика показывает, что сочетание звуковых сигналов, световой индикации и текстовых SMS-сообщений способно снизить количество нарушений на 40% по сравнению с обычными светофорами. Применение систем видеоаналитики с функциями распознавания лиц позволяет ускорить реагирование на инциденты на 25%. А полностью автоматические шлагбаумы, оборудованные датчиками препятствий, способны предотвратить до 90% попыток проезда при запрещающем сигнале, существенно повышая уровень физической преграды.

Экономические аспекты также нельзя игнорировать. Стоимость строительства надземного перехода значительно разнится: от 18–22 млн рублей в РФ до 25–30 млн евро в странах ЕС. Подземный переход еще дороже: от 35–40 млн рублей в РФ до 45–55 млн евро в ЕС. Аналогично, годовые эксплуатационные расходы на один объект составляют 0,8–1,2 млн рублей в РФ и 1,5–2,0 млн евро в ЕС, что подчеркивает не только различную стоимость труда и материалов, но и разные подходы к обслуживанию и безопасности.

Выводы

Обобщая все вышеизложенное, можно сделать несколько ключевых выводов, касающихся стратегии повышения безопасности на высокоскоростных магистралях:

Специализированная нормативная база: России необходима отдельная нормативная база для ВСМ со скоростями свыше 200 км/ч. Использование общих правил железнодорожного транспорта создаёт риски — их уже устраняют в других странах с помощью резервированных систем и многоуровневого оповещения.

Совершенствование оборудования: Текущее оборудование соответствует базовым требованиям, но требует доработки. Расхождения между заявленными и реальными характеристиками (например, дальностью датчиков или надёжностью шлагбаумов) нужно устранять через тестирование в реальных условиях: на высоких скоростях даже малая погрешность критична.

Закрепление расчётных параметров: В нормативах необходимо чётко зафиксировать ключевые параметры: минимальное расстояние для активации сигнализации, расчёт тормозного пути и времени эвакуации. Эти данные, полученные моделированием, — основа безопасной инфраструктуры.

Учёт человеческого фактора: Человеческий фактор остаётся главным источником риска: нарушения из-за игнорирования сигналов и концентрация происшествий в пригородных зонах показывают, что технических решений недостаточно. Нужны комплексные стратегии — сочетание технологий с просветительскими кампаниями и жёстким контролем нарушений.

Баланс надёжности и экономичности: Важно найти оптимальный баланс между надёжностью и экономической целесообразностью. Разница в стоимости инфраструктуры и эксплуатации между РФ и ЕС связана не только с ценами, но и с подходами к безопасности. Следует адаптировать эффективные международные решения для российских реалий.

Библиографический список

1. Физические основы высокоскоростного движения поездов: расчеты тормозного пути и кинетической энергии // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2022. – № 4. – С. 12–19.
2. Годовые отчеты ОАО «РЖД» о безопасности движения и статистика инцидентов на неохраняемых переходах [Электронный ресурс] // Официальный сайт ОАО «РЖД». – Режим доступа: <https://rzd.ru>, свободный.
3. О железнодорожном транспорте в Российской Федерации: Федеральный закон от 10.01.2003 № 17-ФЗ; Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: утверждены приказом Минтранса России от 23.06.2022 № 250. – Москва: Эксмо, 2023. – 352 с.
4. UIC Code 740-1. Safety requirements and technical decisions for high-speed railways. – Paris: International Union of Railways (UIC), 2020. – 75 p.
5. ERA Safety Guidelines: High-Speed Rail Systems and Reaction Time Calculation Standards. – Valenciennes : European Union Agency for Railways, 2021. – 120 p.
6. Технические спецификации оборудования для высокоскоростных магистралей: высокочувствительные датчики и системы раннего реагирования. – Москва: Транспортная безопасность, 2022. – 115 с.
7. Регламенты применения средств видеофиксации, акустического и светового оповещения на объектах транспортной инфраструктуры: сборник нормативных документов. – Москва: Техинформ, 2021. – 98 с.
8. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 05.10.2022 №402 «Об утверждении Условий эксплуатации железнодорожных переездов».

References

1. Physical Principles of High-Speed Train Motion: Calculations of Braking Distance and Kinetic Energy // Bulletin of the Research Institute of Railway Transport. — 2022. — No. 4. — P. 12–19.
2. Annual Reports of JSC «Russian Railways» on Traffic Safety and Statistics of Incidents at Unguarded Crossings [Electronic resource] // Official website of JSC «Russian Railways». — Access mode: <https://rzd.ru> (free access).
3. On Railway Transport in the Russian Federation: Federal Law No. 17-FZ of 10.01.2003; Rules for Technical Operation of Railways of the Russian Federation: Approved by Order of the Ministry of Transport of Russia No. 250 of 23.06.2022. — Moscow: Eksmo, 2023. — 352 p.
4. UIC Code 740-1. Safety Requirements and Technical Decisions for High-Speed Railways. — Paris: International Union of Railways (UIC), 2020. — 75 p.
5. ERA Safety Guidelines: High-Speed Rail Systems and Reaction Time Calculation Standards. — Valenciennes: European Union Agency for Railways, 2021. — 120 p.
6. Technical Specifications for Equipment for High-Speed Mainlines: Highly Sensitive Sensors and Early Warning Systems. — Moscow: Transport Security, 2022. — 115 p.
7. Regulations for the Use of Video Recording, Acoustic and Visual Warning Systems at Transport Infrastructure Facilities: Collection of Regulatory Documents. — Moscow: Tekhinform, 2021. — 98 p.
8. Order No. 402 of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 05.10.2022 “On Approval of the Operating Conditions for Railway Crossings”.

*Воронежский государственный
технический университет
Студент дорожно-транспортного
факультета А.Е. Чернышов
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (900) 932-74-80
e-mail: alex.che.17@mail.ru
Студент дорожно-транспортного
факультета Н.С. Ботовалкин
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (908) 121-58-93
e-mail: botovalkin2020@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов В.П. Волокитин
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов О.А. Волокитина
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов А.В. Андреев
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (951) 870-95-84
e-mail: aavturbo@yandex.ru*

*Voronezh State
Technical University
Student of the Faculty of Road Transport
A.E. Chernyshov
Russia, Voronezh, tel. +7 (900) 932-74-80
e-mail: alex.che.17@mail.ru
Student of the Faculty of Road Transport
N.S. Botovalkin
Russia, Voronezh, tel. +7 (908) 121-58-93
e-mail: botovalkin2020@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge V.P. Volokitin
Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge O.A. Volokitina
Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge A.V. Andreev
Russia, Voronezh, tel. +7 (951) 870-95-84
e-mail: aavturbo@yandex.ru*

А.Е. Чернышов, Н.С. Ботовалкин, В.П. Волокитин, О.А. Волокитина, А.В. Андреев

ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНЫХ ДОРОЖНЫХ РАБОТ

Дорожные работы – неотъемлемая часть развития транспортной инфраструктуры, обеспечивающая связность территорий и комфорт передвижения. Однако зоны проведения таких работ представляют повышенную опасность для всех участников движения: водителей, пешеходов и, в особенности, дорожных рабочих. Существующие риски подчёркивают необходимость совершенствования подходов к организации безопасности в этих зонах.

Ключевые слова: дорожные работы, ремонты, проблемы организации движения, участники дорожного движения, дорожно-транспортные происшествия, опасности и последствия, решения, безопасное движение, правила, контроль.

A.E. Chernyshov, N.S. Botovalkin, V.P. Volokitin, O.A. Volokitina, A.V. Andreev

SAFE ROAD WORK ORGANIZATION

Road works are an integral part of developing transport infrastructure, ensuring connectivity between regions and comfortable travel. However, work zones pose increased risks for all road users: drivers, pedestrians and, especially, road workers. These existing risks highlight the need to improve safety management approaches in such areas.

Keywords: road works, repairs, traffic management issues, road users, road traffic accidents, hazards and consequences, solutions, safe traffic flow, rules, monitoring.

Дорожные работы – строительство магистралей, текущий или капитальный ремонт, ликвидация дефектов на проезжей части и мостовых сооружениях – фундамент поддержания и развития транспортной инфраструктуры. Они обеспечивают ключевые функции: связность территорий, пропускную способность дорог и комфорт передвижения для всех участников движения. Однако эта часть дорожной отрасли несёт повышенный и многогранный риск. Угроза нависает над каждым: водителями, пешеходами и, что тревожно, над дорожными рабочими. Мировая и российская статистика ежегодно фиксирует тысячи ДТП в местах проведения работ [1]. Многие из инцидентов оборачиваются серьёзными травмами, а порой – трагической гибелью людей. Эти цифры не просто констатируют проблему, а выдвигают необходимость в переосмыслении и улучшении подходов к обеспечению безопасности.

Поэтому организация и соблюдение требований безопасности в зонах дорожных работ становятся важным фундаментом минимизации рисков. Это выходит за рамки формальной расстановки знаков, требуя стратегического подхода к размещению с учётом психологии водителя и динамики потока. Комплекс мер должен охватывать использование видимых, контрастных ограждений, применение современных предупреждающих устройств и предоставление чёткой, своевременной информации участникам движения о предстоящих изменениях. Все элементы безопасности должны функционировать как единая, слаженная система, чтобы не просто снижать вероятность происшествий, но активно их предотвращать.

Несмотря на наличие нормативной базы, например, ГОСТ Р 58350-2019 [2], регламентирующей организацию дорожных работ, практика в России сталкивается с системными недостатками. Они приводят к опасным ситуациям на дорогах и требуют незамедлительного устранения.

Одна из распространённых проблем – недостаточное информирование водителей. Предупреждающие знаки «Дорожные работы» часто устанавливают слишком близко к зоне, не давая времени для снижения скорости и перестройки. Отсутствие щитов с информацией о расстоянии до зоны работ и схемах объезда лишает водителей возможности спланировать действия. Ситуация опасна: провоцирует резкое торможение, столкновения с попутным транспортом, выезд на встречную полосу и риск наезда на препятствия в рабочей зоне.

Несоответствие ограждений и освещения нормам также повышает риск ДТП. Нередко используются повреждённые, загрязнённые или малоконтрастные ограждения – конусы и блоки, — которые становятся невидимыми в плохую погоду, туман, дождь или ночью. Не хватает сигнальных огней или они неисправны. Это создаёт риск наезда на ограждения и въезда в рабочую зону, угрожая безопасности рабочих и техники.

Ещё одна проблема – отсутствие чётких схем организации движения. Наблюдается сужение проезжей части, ведущее к «бутылочным горлышкам» без мер управления потоком – регулировщиков или светофоров. Общие знаки без детализации направлений усугубляют хаос. Опасность кроется в заторах, агрессивном стиле вождения, столкновениях при перестроении и риске боковых столкновений. Всё это снижает безопасность на участке.

Низкая квалификация или нехватка регулировщиков – серьёзная проблема. Привлекаются специалисты без опыта, использующие жесты неправильно или не обеспеченные светоотражающей одеждой и жезлами, что делает их незаметными. Это ведёт к недопониманию указаний, хаотичному движению и увеличению времени проезда, усиливая фрустрацию водителей и риск манёвров.

Пешеходы сталкиваются с серьёзными опасностями: падением или наездом на незащищённых участках при отсутствии адекватных ограждений на тротуарах или пешеходных дорожках в зоне работ. Возможен контакт с рабочим оборудованием из-за случайного заезда строительной техники на пешеходную зону, обусловленного хаотичным движением или недостаточной разметкой. И, конечно, падение с высоты, что особенно актуально на мостах и многоуровневых конструкциях при отсутствии надёжных барьеров или неправильной организации прохода.

Наиболее уязвимая группа – это дорожные рабочие, для которых угрозы максимально концентрированы. Наезд транспортных средств из общего потока движения – самая распространённая и смертельно опасная угроза, требующая максимально эффективной защиты. Падение предметов с высоты представляет собой частый риск при работе на мостах, эстакадах или надземных сооружениях, где возможно падение инструментов или строительных материалов. Попадание под строительную технику может произойти вследствие неосторожности или нарушения правил внутреннего перемещения техники на стройплощадке. Наконец, рабочие постоянно подвергаются воздействию вредных факторов: хронического шума от дорожного движения и техники, пыли, выхлопных газов и вибрации, что негативно сказывается на их здоровье и концентрации.

Зарубежный опыт государств с развитой дорожной инфраструктурой, таких как США, Канада, Германия и Швеция, демонстрирует эффективность комплексного подхода к организации безопасности дорожных работ. Этот подход не ограничивается нормативами, но также включает внедрение передовых технологий и многоуровневый контроль за их соблюдением. Изучение практик позволяет выявить аспекты, которые могут стать уроками для российской действительности.

Один из важнейших элементов успешной зарубежной практики – надёжное и заблаговременное информирование. Например, в США повсеместно используются крупноформатные светодиодные табло, известные как Portable Changeable Message Signs (PCMS) [4]. Эти устройства заблаговременно, за несколько километров до зоны работ, информируют водителей о изменениях, длине участка, задержках и рекомендуемой скорости движения. Такой подход даёт водителям время для планирования и безопасной адаптации к условиям. В Германии активно применяются «мобильные» дорожные знаки на прицепах с подсветкой, что позволяет адаптировать информацию к ситуации и обеспечивать её видимость в любых условиях.

Параллельно с информированием зарубежные страны делают акцент на разработке комплексных схем организации движения [5]. Схемы прорабатываются до мельчайших деталей и учитывают множество факторов: пропускную способность дороги, её тип, интенсивность движения и длительность работ. Часто для управления потоком используются временные светофоры, регулирующие движение по полосе и синхронизированные с учётом длины участка. Широко распространено применение сужающихся знаков (Work Zone Taper), которые обеспечивают плавное перестроение транспорта, исключая резкие манёвры и снижая вероятность столкновений.

Применяемые за рубежом средства ограждения и сигнализации отличаются продуманностью и эффективностью. Среди них выделяются:

Impact Attenuators, или барьерные демпферы. Это устройства, устанавливаемые перед опасными препятствиями, такими как концы барьеров или крупная техника. Их назначение – поглощать энергию удара при наезде, минимизируя повреждения автомобиля и снижая вероятность травм водителя и пассажиров.

Automated Flagger Assistance Devices (AFADs) для повышения безопасности регулировщиков. Эти автоматизированные устройства регулируют движение, позволяя заменить живых регулировщиков, исключая их нахождение в опасной зоне и повышая безопасность.

Truck-Mounted Attenuators (TMAs) – демпферы, устанавливаемые на грузовики. Грузовики следуют за бригадами рабочих, выполняя роль «щита» и защищая их от наезда сзади. В случае столкновения ТМА поглощает энергию удара, снижая последствия [6].

Радарные системы контроля скорости – важный элемент контроля за движением. В зонах дорожных работ они применяются для регистрации нарушений скоростного режима. Иногда информация о скорости выводится на табло, мотивируя соблюдать правила.

Помимо технологий, зарубежный опыт демонстрирует повышенные требования к спецтехнике и одежде рабочих. Обязательно использование высокочеткой одежды класса 3 с большим количеством светоотражающих элементов [7]. Такая экипировка обеспечивает видимость рабочих в любое время суток и при любых условиях, снижая риск наезда. Вся спецтехника должна быть оснащена яркими проблесковыми маячками (360°), звуковыми сигналами заднего хода и освещением. Эти меры делают технику заметной и предсказуемой для других участников движения, что важно на оживлённых участках дорог.

Наконец, частью комплексного подхода является жёсткий контроль и система высоких штрафов. В развитых странах действуют строгие штрафы за нарушение скоростного режима в зонах дорожных работ, причём их размер порой удваивается по сравнению со стандартным. Это служит стимулом для водителей соблюдать правила. Параллельно ведётся строгий контроль за соблюдением правил организации работ подрядными организациями, что гарантирует качество реализации мер безопасности и минимизирует возможность халатности.

Для повышения безопасности в российских дорожных работах требуется внедрение комплексных мер, охватывающих все аспекты организации и проведения. Решения интегрируют лучшие мировые практики, адаптируют их к национальным особенностям и формируют новую культуру безопасности на дорогах.

В первую очередь необходимо выйти на новый уровень информирования водителей. Это означает не просто установку знаков, а внедрение высокотехнологичных информационных табло, аналогичных зарубежным PCMS. Они должны предупреждать водителей за 0,5–2 км до зоны работ о типе и длительности работ, а также о сужении полос. Такая информация позволит принять осознанное решение и скорректировать скорость. Стандартом должно стать использование информационных щитов с схемами объезда, особенно на крупных перекрёстках и перед съездами. Схемы сокращают стресс водителей и предотвращают хаотичное маневрирование. Важна интеграция данных о зонах работ с навигационными системами («Яндекс.Карты», «2ГИС») [8]. Передача актуальной информации обеспечит заблаговременное информирование и даст возможность построить оптимальный маршрут, избегая пробок.

Далее требуется улучшить организацию движения и надёжность ограждений. Необходимо ужесточить требования к их качеству и количеству. На опасных участках обязательно использование барьерных блоков типа «Нью-Джерси», а также повышение требований к световозвращающим свойствам конусов и блоков, чтобы они были заметны в любых условиях. Законодательно следует закрепить применение Impact Attenuators и TMAs для защиты рабочих и водителей, снижая последствия ДТП. Жизненно важны разработка и применение типовых схем ОДД для каждого типа работ и условий. Схемы должны учитывать интенсивность движения, траектории крупногабаритного транспорта и спецтехники. При регулировании движения нужно либо использовать AFADs, либо привлекать высококвалифицированных регулировщиков в флуоресцентной одежде третьего класса защиты с яркими световыми жезлами. Применение временных светофоров для регулирования реверсивного движения должно быть синхронизировано с учётом длины участка и скорости потока, чтобы избежать заторов и аварий.

Важнейшее направление – повышение безопасности пешеходов и рабочих. Необходимо создавать безопасные пешеходные коридоры на мостах и в местах работ, обеспечивая их освещением и защитой от падающих предметов. Контроль за использованием СИЗ для рабочих

должен быть ужесточён: обязательность ношения касок, высокозаметной одежды (ГОСТ 12.4.281-2014) [9] и защитной обуви должна стать правилом. Параллельно следует ввести регулярное обучение персонала, включая тренинги по технике безопасности, правилам расстановки знаков и взаимодействию с движением. Спецтехника должна быть оснащена средствами безопасности: проблесковыми маячками (360°), звуковыми сигналами заднего хода, камерами заднего вида и системами предотвращения столкновений.

Наконец, необходимо внедрять технологии и контроль для предотвращения нарушений. Автоматизированные системы видеонаблюдения должны контролировать скоростной режим и фиксировать нарушения в зоне работ, обеспечивая неотвратимость наказания и дисциплинируя водителей. Мониторинг состояния зоны с помощью датчиков для контроля освещения и положения ограждений позволит оперативно реагировать на отклонения. Важно повышение штрафов за нарушения в зоне дорожных работ: увеличение финансовой ответственности водителей, вплоть до кратного увеличения стандартного штрафа, станет стимулом для ответственного поведения.

Применение решений требует усилий и слаженной работы разных стейкхолдеров: госорганов (Росавтодор [10], ГИБДД), проектных организаций, подрядных компаний и производителей техники и средств безопасности. Внедрение новых стандартов и технологий может повлечь начальные инвестиции, но они, как правило, окупаются. Окупаемость достигается за счёт снижения числа ДТП, уменьшения жертв и пострадавших, сокращения сроков работ благодаря минимизации инцидентов, а также снижения расходов на ремонт повреждённых участков и оборудования.

Важный аспект – обеспечение прозрачности и доступности информации о дорожных работах для общественности. Разработка единой онлайн-платформы, где граждане могли бы получать данные о планируемых и текущих работах, их продолжительности и альтернативных маршрутах, снизит напряжённость на дорогах и сформирует более высокую культуру вождения. Это позволит водителям заранее планировать поездки и избегать пробок.

Параллельно необходимо пересмотреть подходы к обучению и аттестации персонала, ответственного за организацию движения на участках работ. Процесс должен включать не только изучение нормативной документации, но и развитие практических навыков по расстановке знаков, применению ограждений и регулированию движения в сложных условиях.

Опыт регионов с высокой концентрацией дорожных работ (Московская область, крупные промышленные центры) должен быть обобщён, проанализирован и применён повсеместно. Только системный подход ко всем аспектам безопасности позволит достичь желаемого уровня защищённости на российских дорогах и мостовых сооружениях, превращая опасные зоны в управляемые и безопасные среды.

Выводы

Безопасность в местах проведения дорожных работ — многоаспектная и сложная проблема, требующая неотложных и проработанных комплексных решений. Текущая ситуация в России характеризуется наличием системных недостатков, ведущих к числу ДТП, травмам и, что самое тяжёлое, к жертвам среди водителей, пешеходов и незащищённых рабочих.

Обобщая результаты анализа, можно сделать ключевые выводы, указывающие на основные проблемы и пути их решения.

Системные недостатки в организации дорожных работ включают недостаточное информирование участников движения, низкое качество и изношенность ограждений, отсутствие чётких схем движения, адаптированных под трафик, а также недостаточную подготовку персонала, ответственного за регулирование. Всё это создаёт критические условия на дороге.

Опасности проистекают из комбинации факторов: низкой видимости зоны работ, внезапных изменений в обстановке, а также отсутствия эффективной защиты для всех категорий участников движения.

Международный опыт демонстрирует эффективность комплексных подходов к безопасности. Это включает заблаговременное информирование, использование инновационных средств ограждения и сигнализации — барьерных демпферов (Impact Attenuators), демпферов на грузовиках (TMAs) и автоматизированных устройств для регулирования движения (AFADs). Важными элементами являются строгий контроль за соблюдением правил и усиленные требования к безопасности рабочих.

Для изменения ситуации в России предлагаемые решения включают внедрение передовых технологий информирования и ограждения, ужесточение стандартов для СИЗ и спецтехники. Необходимы разработка и применение типовых схем ОДД, а также повышение квалификации персонала и усиление контроля за соблюдением норм.

Комплексное внедрение предложенных мер позволит повысить безопасность движения в местах работ и снизить аварийность. Это приведёт к уменьшению числа жертв и пострадавших, сделает условия работы для дорожных рабочих более безопасными и комфортными, создавая предсказуемую дорожную среду для всех участников.

Библиографический список

1. Показатели состояния безопасности дорожного движения: официальный сайт / Госавтоинспекция МВД России. - URL: <http://stat.gibdd.ru>.
2. ГОСТ Р 58350-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Технические средства организации дорожного движения в местах производства работ. Технические требования. Правила применения. — Москва: Стандартинформ, 2019. - 38 с.
3. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*: свод правил: утвержден приказом Министерства регионального развития РФ от 30.06.2012 № 266. - Москва: Минрегион России, 2012. - 107 с.
4. Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (MUTCD). - 11th Edition. - Washington, DC: Federal Highway Administration, 2023. - URL: <https://mutcd.fhwa.dot.gov>.
5. Work Zone Methods and Strategies / Federal Highway Administration (FHWA). - URL: <https://ops.fhwa.dot.gov/wz>.
6. Roadside Design Guide. - 4th Edition. - Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2011. - 344 p.
7. ANSI/ISEA 107-2020. American National Standard for High-Visibility Safety Apparel and Accessories. - Arlington: International Safety Equipment Association, 2020. - 52 p.
8. Интеграция данных и маршрутизация в геосервисах / Яндекс Карты: официальный сайт. - URL: <https://yandex.ru/maps>.
9. ГОСТ 12.4.281-2014. Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная повышенной видимости. Технические требования: межгосударственный стандарт: введен в действие Приказом Росстандарта от 26.11.2014 № 1813-ст. - Москва: Стандартинформ, 2015. - 27 с.
10. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор): официальный сайт. - URL: <https://rosavtodor.gov.ru>.

References

1. Indicators of Road Safety Status: official website / State Traffic Inspectorate of the Ministry of Internal Affairs of Russia. - URL: <http://stat.gibdd.ru>.
2. GOST R 58350-2019. Public Automobile Roads. Traffic Control Devices at Work Sites. Technical Requirements. Application Rules. — Moscow: Standartinform, 2019. - 38 p.
3. SP 34.13330.2012. Automobile roads. Updated version of SNiP 2.05.02-85*: code of practice: approved by Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation dated 30.06.2012 No. 266. — Moscow: Ministry of Regional Development of Russia, 2012. - 107 p.
4. Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (MUTCD). - 11th Edition. - Washington, DC: Federal Highway Administration, 2023. - URL: <https://mutcd.fhwa.dot.gov>.
5. Work Zone Methods and Strategies / Federal Highway Administration (FHWA). - URL: <https://ops.fhwa.dot.gov/wz>.
6. Roadside Design Guide. - 4th Edition. - Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2011. - 344 p.
7. ANSI/ISEA 107-2020. American National Standard for High-Visibility Safety Apparel and Accessories. - Arlington: International Safety Equipment Association, 2020. - 52 p.
8. Data Integration and Routing in Geoservices / Yandex Maps: official website. - URL: <https://yandex.ru/maps>.
9. GOST 12.4.281-2014. Occupational safety standards system. High-visibility special clothing. Technical requirements: interstate standard: put into effect by Order of Rosstandart dated 26.11.2014 No. 1813-st. — Moscow: Standartinform, 2015. - 27 p.
10. Federal Road Agency (Rosavtodor): official website. - URL: <https://rosavtodor.gov.ru>.

*Воронежский государственный
технический университет
Студент дорожно-транспортного
факультета А.Е. Чернышов
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (900) 932-74-80
e-mail: alex.che.17@mail.ru
Студент дорожно-транспортного
факультета Н.С. Ботовалкин
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (908) 121-58-93
e-mail: botovalkin2020@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов В.П. Волокитин
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов О.А. Волокитина
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
Канд. техн. наук, доц. кафедры
проектирования автомобильных дорог и
мостов А.В. Андреев
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (951) 870-95-84
e-mail: aavturbo@yandex.ru*

*Voronezh State
Technical University
Student of the Faculty of Road Transport
A.E. Chernyshov
Russia, Voronezh, tel. +7 (900) 932-74-80
e-mail: alex.che.17@mail.ru
Student of the Faculty of Road Transport
N.S. Botovalkin
Russia, Voronezh, tel. +7 (908) 121-58-93
e-mail: botovalkin2020@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge V.P. Volokitin
Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge O.A. Volokitina
Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of
Postgraduate at the Department of Road and
Bridge A.V. Andreev
Russia, Voronezh, tel. +7 (951) 870-95-84
e-mail: aavturbo@yandex.ru*

А.Е. Чернышов, Н.С. Ботовалкин, В.П. Волокитин, О.А. Волокитина, А.В. Андреев

ОСВЕЩЕНИЕ ДОРОГ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ В ТЁМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК

Безопасность дорожного движения в тёмное время суток – острая проблема: значительная часть ДТП со смертельным исходом происходит ночью, хотя интенсивность движения в этот период ниже. Качественное дорожное освещение способно снизить аварийность, однако на региональных дорогах его реализация сталкивается с трудностями.

Ключевые слова: освещенность, дорожно-транспортные происшествия, темное время суток, аварийность, видимость, время реакции, нормы и требования, яркость и температура, восприятие, дополнительные меры.

A.E. Chernyshov, N.S. Botovalkin, V.P. Volokitin, O.A. Volokitina, A.V. Andreev

ROAD LIGHTING AND TRAFFIC SAFETY AT NIGHT

Road safety at night is a pressing issue: a significant proportion of fatal traffic accidents occur at night, even though traffic intensity is lower during this period. High-quality road lighting can reduce accident rates, but its implementation faces challenges on regional roads.

Keywords: illumination, road traffic accidents, nighttime, accident rate, visibility, reaction time, standards and requirements, brightness and temperature, perception, additional measures.

Безопасность дорожного движения является одним из приоритетных направлений развития транспортной инфраструктуры в любой стране. Ежегодно миллионы аварий приводят к травмам и гибели людей по всему миру. Многие из этих инцидентов происходят в тёмное время суток, когда условия видимости значительно ухудшаются, что напрямую сказывается на времени реакции водителей, способности распознавать препятствия и адекватно оценивать дорожную ситуацию. По данным Всемирной организации здравоохранения, около 49% всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП) со смертельным исходом происходят в ночное время, хотя на этот период приходится лишь около 25% всего транспортного потока [1].

Качественное дорожное освещение играет критически важную роль в снижении аварийности в тёмное время суток. Оно позволяет водителям своевременно обнаруживать пешеходов, велосипедистов и другие транспортные средства, лучше ориентироваться на местности, а также делает окружающую обстановку более предсказуемой. Помимо прямой функции улучшения видимости, уличное освещение влияет на уровень преступности и общее чувство безопасности граждан [2].

В Российской Федерации стандарты и нормы по дорожному освещению регулируются рядом нормативных документов, таких как ГОСТ Р 55708-2013 «Освещение наружное дорог, улиц, площадей и пешеходных зон. Нормы и методы измерений», СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» и другими, которые устанавливают требования к яркости, равномерности и цветовой температуре освещения [3, 4]. Однако, несмотря на существующие нормативы, проблема недостаточного или некачественного освещения остается актуальной, особенно на региональных дорогах и в малых населенных пунктах.

Человеческий глаз адаптируется к различным уровням освещенности. Однако в сумерки и ночью его способность различать детали, цвета и расстояния существенно снижается. Колбочки, отвечающие за цветное зрение и высокую остроту, работают эффективно только при достаточной освещенности (фотопическое зрение). В условиях низкой освещенности активируются палочки (скотопическое зрение), которые обеспечивают черно-белое зрение с низкой остротой и плохой способностью к различению деталей [5].

При недостаточном освещении водителям требуется больше времени для распознавания препятствий, оценки скорости приближающихся объектов и принятия решений. Это напрямую увеличивает тормозной путь реакции и, соответственно, общий остановочный путь. Например, при движении со скоростью 60 км/ч на неосвещенной дороге водителю может потребоваться на 1-2 секунды больше для реакции, что на скользком покрытии может увеличить остановочный путь на десятки метров [6]. Снижение контраста между объектом и фоном, ослепление от фар встречных автомобилей и наличие теней также негативно влияют на видимость.

Качественное дорожное освещение направлено на создание таких условий, при которых водители могут использовать преимущественно фотопическое зрение, обеспечивая адекватное восприятие окружающей среды. Ключевыми параметрами освещения с точки зрения безопасности являются яркость, равномерность яркости, ограничение ослепления и цветовая температура. Средняя яркость должна соответствовать нормативам (например, до 2 кд/м² и выше для магистралей), её недостаток затрудняет восприятие, а избыток может вызывать дискомфорт или ослепление. Равномерность распределения света (с минимально допустимым коэффициентом 0,4 для магистралей и улиц общего пользования) предотвращает эффект «зебры» и снижает утомление зрения [3], а правильное расположение светильников и оптические системы минимизируют ослепляющее действие для водителей и пешеходов. Наконец, цветовая температура источников света (4000–5000 К для светодиодных светильников) улучшает контрастность, но при длительном воздействии может усиливать утомление и дискомфорт [7].

Многочисленные исследования подтверждают прямую корреляцию между наличием и качеством дорожного освещения и уровнем безопасности движения. В среднем, установка адекватного освещения на ранее неосвещенных дорогах или модернизация устаревших систем приводит к снижению количества ДТП в тёмное время суток на 30-40% [8].

Так, по данным Главного управления по обеспечению безопасности дорожного движения МВД России, на федеральных трассах с модернизированным освещением количество ночных ДТП снизилось на 25-35% за последние пять лет. Особое внимание уделяется пешеходным переходам: их дополнительное акцентное освещение в сочетании с мигающими светофорами позволяет снизить наезды на пешеходов в тёмное время суток на 50-60% [9].

Зарубежный опыт также демонстрирует впечатляющие результаты. В Великобритании реализация программ по улучшению освещения городских улиц привела к снижению количества ДТП в ночное время на 37% [10]. В США, в рамках исследования по оценке эффективности систем интеллектуального освещения, было установлено, что адаптивные системы, регулирующие яркость в зависимости от плотности трафика и погодных условий, не только экономят энергию, но и способствуют снижению аварийности на 20-25% за счет оптимизации видимости [11].

Современные системы дорожного освещения претерпевают значительные изменения благодаря развитию светодиодных (LED) технологий и интеллектуальных систем управления.

Светодиодные светильники (LED) стали стандартом де-факто в дорожном освещении. Их преимущества включают высокую энергоэффективность, которая сокращает потребление электроэнергии по сравнению с традиционными натриевыми или ртутными лампами (до 50-70%) [7], долгий срок службы более 50 000 часов, гибкость управления яркостью и лучшую цветопередачу для повышения контрастности и четкости восприятия объектов.

Интеллектуальные системы управления освещением (ИСУ) позволяют удаленно управлять яркостью светильников, включать/выключать их в определенное время или по определенным условиям (например, при обнаружении движения или изменении погодных условий). ИСУ на базе LoRaWAN или ZigBee позволяют создавать “умные города”, где освещение интегрировано с другими городскими системами, такими как видеонаблюдение, датчики загрязнения воздуха и мониторинг трафика [12]. Это приводит к дальнейшей экономии энергоресурсов и повышению адаптивности системы к реальным условиям.

Адаптивное освещение – это системы, которые автоматически регулируют уровень освещенности в зависимости от интенсивности движения, погодных условий, времени суток или наличия пешеходов. Например, на дорогах с низкой интенсивностью движения яркость может быть снижена до 50%, а при приближении автомобиля или пешехода автоматически повышаться до нормативного уровня. Это позволяет не только экономить энергию, но и продлевать срок службы светильников.

К освещению пешеходных переходов и опасных участков применён ряд нестандартных решений, таких как акцентное освещение на пешеходном переходе, цветное освещение (например, зелёное или синее) для привлечения внимания водителей (активно тестируется в некоторых европейских странах [13]) и встроенные световые элементы, такие как светодиодные маркеры, интегрированные в дорожное полотно до и после пешеходного перехода.

Для повышения безопасности дорожного движения в тёмное время суток необходимо комплексное применение ряда мер и подходов.

Применение современных норм и стандартов при проектировании и эксплуатации систем освещения. Особенно важно контролировать равномерность освещенности и показатели ослепления, а на региональном и муниципальном уровнях необходимы программы модернизации устаревших систем освещения, переводя их на светодиодные технологии.

Целевое усиление освещения на опасных участках предусматривает обязательное применение акцентного освещения. Дополнительно можно использовать светодиодные консоли, направленные непосредственно на пешеходную зону, и интегрированные в дорожное полотно маркеры. На перекрестках и кольцевых развязках требуется повышенная яркость и равномерность. Вблизи школ, остановок общественного транспорта, парков, торговых центров можно рассмотреть установку светильников с более частым шагом или использование светильников большей мощности. На опасных поворотах и спусках/подъёмах для улучшения видимости рельефа и траектории движения следует использовать направленное освещение, предотвращающее появление длинных теней, которые могут исказить восприятие дороги.

Внедрение интеллектуальных систем управления (ИСУ) позволит регулировать яркость освещения в зависимости от времени суток, погодных условий и плотности транспортного потока, экономя электроэнергию и ресурсы. Их интеграция с метеостанциями позволит автоматически повышать яркость во время дождя, тумана или снегопада, когда видимость ухудшается. Для второстепенных дорог и улиц с низким трафиком возможно внедрение систем с датчиками движения, которые активируют полноценное освещение только при приближении транспортных средств или пешеходов [14].

Обязательно использование качественных световых приборов с высоким индексом цветопередачи ($CRI > 70-80$), применение светильников с правильным распределением света (кривыми силы света), минимизируя световое загрязнение и ослепление. При проектировании освещения следует руководствоваться ОДМ 218.8.007-2016 [15], который дает рекомендации по размещению, углам наклона и типам приборов для различных типов дорог.

Важны систематический контроль уровня освещенности и обслуживание (замена светильников и чистка оптики от пыли и грязи, которые могут снижать световой поток на 20-30% [16]).

Никогда нельзя забывать о человеческом факторе. В данном случае он может проявляться на въездах и выездах из тоннелей или мостов с интенсивным освещением, где вероятно возникновение эффекта “световой ямы” или “световой стены” (здесь могут подойти переходные зоны с постепенно увеличивающейся/уменьшающейся яркостью освещения). На участках концентрации ночных ДТП необходимо проводить дополнительный анализ и, при необходимости, устанавливать усиленное или специализированное освещение, даже если текущие нормативы могут быть формально соблюдены. В качестве примера можно привести участки дорог в Московской области, где после анализа очагов аварийности были установлены дополнительные опоры освещения на ранее неосвещенных изгибах дорог, что привело к снижению числа ДТП на 40% [17].

Комплекс этих мер позволит существенно повысить видимость и восприятие водителями, пешеходами и других участников дорожного движения.

Выводы

Качественное дорожное освещение является одним из наиболее эффективных инструментов повышения безопасности дорожного движения в темное время суток. Оно существенно улучшает видимость для водителей и пешеходов, сокращает время реакции, способствует более адекватному восприятию дорожной обстановки и, как следствие, значительно снижает риск дорожно-транспортных происшествий. Статистические данные как в России, так и за рубежом убедительно демонстрируют, что инвестиции в современные системы освещения окупаются за счет снижения социальных и экономических потерь от аварий.

Внедрение светодиодных технологий и интеллектуальных систем управления, способных адаптироваться к изменяющимся условиям, открывает новые возможности для создания безопасных и энергоэффективных дорожных инфраструктур. Особое внимание следует уделять целевому усилению освещения на потенциально опасных участках, таких как пешеходные переходы, перекрестки, участки с высокой интенсивностью движения пешеходов и велосипедов, а также крутые повороты и спуски. Систематический контроль, своевременное обслуживание и постоянное совершенствование существующих систем в соответствии с актуальными нормативными требованиями и передовым мировым опытом являются ключевыми факторами для достижения устойчивого улучшения дорожной безопасности. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на оценке долгосрочной эффективности адаптивных систем освещения и их интеграции с развивающимися технологиями умного города.

Библиографический список

1. Всемирная организация здравоохранения. Глобальный доклад о состоянии безопасности дорожного движения 2018. – Женева: ВОЗ, 2018.
2. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). Методические рекомендации по обеспечению безопасности дорожного движения. – М.: ФДА, 2010.
3. ГОСТ Р 55708-2013. Освещение наружное дорог, улиц, площадей и пешеходных зон. Нормы и методы измерений. – М.: Стандартинформ, 2014.
4. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – М.: Минстрой России, 2016.
5. Григорьев В.Г. Физиологические основы зрительного восприятия при искусственном освещении / В.Г. Григорьев, А.А. Павлова. – М.: Инфра-Инженерия, 2017.
6. Дементьева Е.А. Влияние освещенности дорог на психофизиологические реакции водителей // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 3. – С. 136-142.
7. Желтов М.Г. Энергоэффективные источники света в дорожном освещении: анализ и перспективы применения // Светотехника. – 2020. – № 4. – С. 56-62.
8. Elvik R. An Updated Meta-Analysis of the Effectiveness of Public Lighting on Road Safety // Accident Analysis & Prevention.
9. Главное управление по обеспечению безопасности дорожного движения МВД России. Отчет о состоянии безопасности дорожного движения в Российской Федерации за 2022 год. – М.: МВД России, 2023.
10. Paines S. E. The effects of urban street lighting on road accidents / S. E. Paines, D. J. Fabbri // Lighting Research & Technology. – 2003. – Vol. 35, No. 4. – P. 317-327.
11. Freyssinier J. P. A comparative study of advanced street lighting systems / J. P. Freyssinier, N. N. Narendran, Y. H. Gu // Journal of Light & Visual Environment. – 2011. – Vol. 35, No. 1. – P. 19-27.
12. Крюков П.В. Системы интеллектуального управления городским освещением на базе беспроводных технологий // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – № 1. – С. 115-121.
13. Road Safety Innovation Hub. Smart Lighting Solutions for Pedestrian Crossings. – European Commission, 2020.
14. Смыков А.Н. Адаптивные системы управления наружным освещением в условиях современного города // Промышленная энергетика. – 2018. – № 5. – С. 45-51.
15. ОДМ 218.8.007-2016. Методические рекомендации по проектированию искусственного освещения автомобильных дорог общего пользования. – М.: Росавтодор, 2016.
16. Федорова С.В. Факторы снижения эффективности систем наружного освещения и способы их устранения // Светотехника. – 2016. – № 1. – С. 34-39.
17. Управление ГИБДД ГУ МВД России по Московской области. Аналитический отчет о дорожно-транспортной обстановке в Московской области за 2021 год с рекомендациями по повышению безопасности. – Московская область, 2022.

References

1. World Health Organization. Global Status Report on Road Safety 2018. Geneva: WHO, 2018. (In Russ.)
2. Federal Road Agency (Rosavtodor). Guidelines for Ensuring Road Safety. Moscow: FRA, 2010. (In Russ.)
3. GOST R 55708-2013. Outdoor Lighting for Roads, Streets, Squares and Pedestrian Zones. Norms and Measurement Methods. Moscow: Standartinform, 2014. (In Russ.)

4. SP 52.13330.2016. Natural and Artificial Lighting. Updated Version of SNiP 23-05-95. Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation, 2016. (In Russ.)
5. Grigoriev V.G. Physiological Foundations of Visual Perception under Artificial Lighting / V.G. Grigoriev, A.A. Pavlova. Moscow: Infra-Engineering, 2017. (In Russ.)
6. Dementyeva E.A. The Influence of Road Illumination on Drivers' Psychophysiological Reactions // Bulletin of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). 2019. No. 3. P. 136–142. (In Russ.)
7. Zheltov M.G. Energy-Efficient Light Sources in Road Lighting: Analysis and Application Prospects // Svetotekhnika (Light & Engineering). 2020. No. 4. P. 56–62. (In Russ.)
8. Elvik R. An Updated Meta-Analysis of the Effectiveness of Public Lighting on Road Safety // Accident Analysis & Prevention.
9. Main Directorate for Road Traffic Safety of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation. Report on the State of Road Traffic Safety in the Russian Federation for 2022. – Moscow: Ministry of Internal Affairs of Russia, 2023.
10. Paines S. E. The effects of urban street lighting on road accidents / S. E. Paines, D. J. Fabbri // Lighting Research & Technology. – 2003. – Vol. 35, No. 4. – P. 317–327.
11. Freyssinier J. P. A comparative study of advanced street lighting systems / J. P. Freyssinier, N. N. Narendran, Y. H. Gu // Journal of Light & Visual Environment. – 2011. – Vol. 35, No. 1. – P. 19–27.
12. Kryukov P. V. Intelligent Urban Lighting Control Systems Based on Wireless Technologies // Bulletin of Kazan State Power Engineering University. – 2021. – No. 1. – P. 115–121.
13. Road Safety Innovation Hub. Smart Lighting Solutions for Pedestrian Crossings. – European Commission, 2020.
14. Smykov A. N. Adaptive Outdoor Lighting Control Systems in a Modern City Environment // Industrial Energy. – 2018. – No. 5. – P. 45–51.
15. ODM 218.8.007-2016. Methodological Recommendations for the Design of Artificial Lighting on Public Roads. – Moscow: Rosavtodor, 2016.
16. Fedorova S. V. Factors Reducing the Efficiency of Outdoor Lighting Systems and Methods for Their Elimination // Light & Engineering. – 2016. – No. 1. – P. 34–39.
17. Traffic Police Department of the Main Directorate of the Ministry of Internal Affairs of Russia for the Moscow Region. Analytical Report on the Road Traffic Situation in the Moscow Region for 2021 with Recommendations for Improving Safety. – Moscow Region, 2022.

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ, МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ

УДК 625.7

*Воронежский государственный
технический университет
Аспирант кафедры строительства
и эксплуатации автомобильных дорог
Е.В. Корнилов
Россия, г. Воронеж,
тел. +7(919) 247-75-25
e-mail: jenya8885@gmail.com
Канд. техн. наук, доцент
А.В. Андреев
Россия, г. Воронеж,
тел. +7-951-870-95-84
e-mail: aavturbo@yandex.ru
Канд. техн. наук, доцент
О.А. Волокитина;
Россия, г. Воронеж,
тел. +7-910-349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
Студент 4 курса Дорожно-транспортного
факультета Д.М. Оськин;
Россия, г. Воронеж, тел. +7(980) 543-59-61
e-mail: danya.oskin.99@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University
Postgraduate student of the Department
of construction and operation of highways
E.V. Kornilov;
Russia, Voronezh,
tel. +7(919) 247-75-25
e-mail: jenya8885@gmail.com
Cand. Of Tech. Science,
Associate prof. A.V. Andreev
Russia, Voronezh,
tel. +7-951-870-95-84
e-mail: aavturbo@yandex.ru
Cand. Of Tech. Science,
Associate prof. O.A. Volokitina;
Russia, Voronezh,
tel. +7-910-349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
Fourth year student of the Faculty of Roads
and Transport D.M. Oskin;
Russia, Voronezh, tel. +7(980) 543-59-61
e-mail: danya.oskin.99@mail.ru*

Е.В. Корнилов, А.В. Андреев, О.А. Волокитина, Д.М. Оськин

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ СТЕКЛОБОЙНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СОВОКУПНОСТИ С НЕОРГАНИЧЕСКИМ ВЯЖУЩИМ ДЛЯ УСТРОЙСТВА КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЁВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ ДОРОГАХ И ДОРОГАХ С НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ

В статье приведена информация о применении отходов стеклобойной промышленности для строительства и реконструкции региональных автомобильных дорог и дорог с низкой интенсивностью движения.

Ключевые слова: инфраструктура для жизни, комплексное развитие сельских территорий, дороги с низкой интенсивностью движения, органические и неорганические вяжущие, стеклобойная промышленность, мелкомолотое стекло.

E.V. Kornilov, A.V. Andreev, O.A. Volokitina, D.M. Oskin

USE OF GLASS-BREAKING INDUSTRY WASTE IN COMBINATION WITH INORGANIC BINDER FOR THE CONSTRUCTION OF ROAD PAVEMENT LAYERS ON REGIONAL AND LOW-TRAFFIC ROADS

The article provides information on the use of glass industry waste for the construction and renovation of regional highways and low-traffic roads.

Keywords: infrastructure for living, integrated development of rural areas, low-traffic roads, organic and inorganic binders, glass industry, and fine-ground glass.

На территории Российской Федерации существует различного рода программы для улучшения качества жизни населения. Одной из таких программ является «Инфраструктура для жизни.» [1]. Благодаря этому проекту строятся новые дома, развивается общественный транспорт, реконструируется опорная сеть автомобильных дорог. Некоторыми инициативами проекта являются «Развитие дорожного хозяйства», суть которой в использовании новых материалов и технологий для создания долговечных автомобильных дорог и «Региональные дороги», задачей которого является доведение до нормативного состояния не менее 60 % автомобильных дорог. Так же существует программа «Комплексное развитие сельских территорий» [2]. Суть программы заключается в приведении автомобильных дорог общего пользования регионального или местного значения в соответствие с нормативными требованиями к их транспортно-эксплуатационному состоянию в целях обеспечения доступа автомобильного транспорта к сельским населённым пунктам.

При строительстве и реконструкции автомобильных дорог очень важно, чтобы конструкция дорожной одежды обладала не только требуемыми прочностными характеристиками, но и была сравнительно недорогой. Значительную стоимость строительно-монтажных работ составляет логистика по доставке необходимых инертных материалов, ввиду несоответствия местных ресурсов требуемым физико-механическим показателям. Чтобы улучшить физико-механические свойства малопрочных материалов необходимо применять различные методы укрепления.

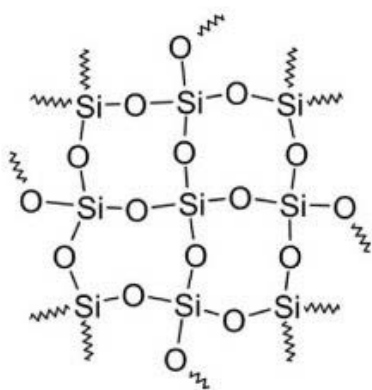
Впервые на территории нашей страны данную технологию начали применять в начале 50х годов прошлого столетия. Одним из первых крупномасштабных объектов было строительство автомобильной дороги Москва-Харьков. В СССР в основном в качестве вяжущего применяли цемент или битум.

В настоящий момент существуют различные технологии по укреплению и стабилизации местных материалов отходами промышленности и материалами от разборки зданий и сооружений. Достаточно перспективным является применение отходов стеклобойной индустрии для устройства слоёв оснований дорожной одежды. Это позволит снизить нагрузку на окружающую среду и сэкономить природные ресурсы. В дорожном строительстве дроблёное стекло возможно применять в виде активной минеральной добавки (рис.1).



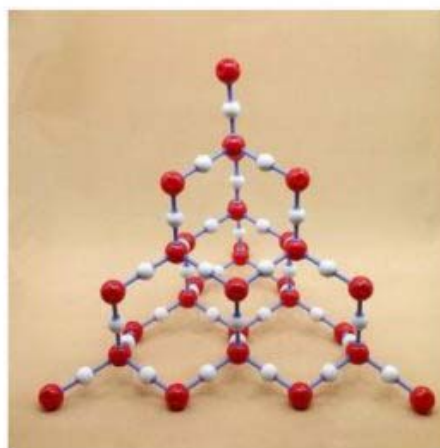
Рис. 1. Измельченное стекло фр. 0-150 мкм

Мелкомолотое стекло обладает пуццоланическими свойствами. Это способность тонкоизмельчённого материала в присутствии извести проявлять гидравлические свойства [5]. Аморфный кремнезём (SiO_2) (рис.2), который содержится в дроблённом стекле (порядка 70-75%), вступает в реакцию с гидроксидом кальция, выделяющимся при гидратации цемента или извести [5].



Химическая
формула

а)



Кристаллографическое
строение

б)

Рис. 2. Строение диоксида кремния:
а – химическая формула; б – строение кристалла

Этот химический процесс приводит к образованию гидросиликатов кальция, которые повышают прочность и долговечность укрепленного грунта. Такой эффект особенно ценен при комплексном укреплении грунтов с применением цемента или извести в качестве неорганического вяжущего.

При производстве работ, технология распределения аналогична неорганическому вяжущему. Распределение материала с заданным проектным объемом происходит при помощи цементораспределителя. Применение тонкомолотого битого стекла позволит снизить расход неорганического вяжущего от 10 до 30% в зависимости от требуемых физико-механических показателей слоя дорожной одежды. Это происходит благодаря пуццолановой реакции.

В ряде зарубежных стран есть успешные примеры использования мелкомолотого стекла в комбинации с неорганическим вяжущим при стабилизации оснований. В пример можно привести модернизацию автомагистрали М80 в Мельбурне [5]. В основании дорожной одежды было использовано более 22 миллионов стеклянных бутылок. Это позволило не только увеличить прочность конструктивного слоя, но и сократить выброс парниковых газов более чем на 40%.

Так же можно рассмотреть исследование Южно-Китайского технологического университета. В своём исследовании учёные рассмотрели применение строительных отходов и мелкомолотого стекла как инновационной добавки для укрепления грунта. В качестве строительных отходов применялись материалы от разборки зданий и сооружений. Эксперименты показали, что состав с 20 % микропорошка стекла и 10 % строительных отходов может повысить прочность на сжатие конструктивного слоя на 56,8 %, с 7,25 МПа до 11,38 МПа, сократить выбросы углекислого газа более чем на 20 % [6].

Так же возможно применение стеклобоя в качестве армирующего или дренирующего слоя. Если взять крупную фракцию стекла, особенно острой формы, она будет способствовать лучшему сцеплению и распределению напряжения. Но необходимо подобрать качественно зерновой состав во избежание низкой пустотности.

Из полученного материала можно сделать вывод, что устройство оснований и покрытий из местных малопрочных материалов с последующим укреплением вяжущими и стабилизирующими добавками позволяют снизить сметную стоимость строительства, возводить конструкции с требуемыми физико-механическими показателями, уменьшить объём земляных работ, так как при меньшей толщине конструктивный слой будет обладать теми же характеристиками, как и слой без укрепления вяжущими. Это оптимальный вариант для строительства и реконструкции дорог с низкой интенсивностью движения

Библиографический список

1. [Электронный ресурс] - <https://dorogistrany.ru>.
2. [Электронный ресурс] - <https://кпст.рф>.
3. [Электронный ресурс] - <https://apoza.asn.au>.
4. [Электронный ресурс] - <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov>.

References

1. [Electronic resource] - <https://dorogistrany.ru>.
2. [Electronic resource] - <https://кпст.рф>.
3. [Electronic resource] - <https://apoza.asn.au>.
4. [Electronic resource] - <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov>.

*Воронежский государственный
технический университет
аспирант, кафедры строительства
и эксплуатации автомобильных дорог
В.А. Чернухин
e-mail: vadim.chiernuhin@mail.ru
Канд. Тех. Наук, доцент кафедры строи-
тельства и эксплуатации автомобильных
дорог А.С. Строкин
Россия, г. Воронеж,
e-mail: alexmech23@gmail.com
Канд. тех. наук, доцент кафедры
строительства и эксплуатации
автомобильных дорог Ф.В. Матвиенко
Россия, г. Воронеж,
e-mail: fmatvienko@yandex.ru,
аспирант, кафедры строительства
и эксплуатации автомобильных дорог
М.Г. Пятин
e-mail: maks.5uatin@mail.ru
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (473) 236-18-89*

*Voronezh State
Technical University
Ph.D student of Pulpit construction
and usages of the car roads
V.A. Chernukhin
e-mail: vadim.chiernuhin@mail.ru
Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of the De-
partment of Automobile Road Construction and
Operation A.S. Strokin
Russia, Voronezh,
e-mail: alexmech23@gmail.com
Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of the De-
partment of Automobile Road Construction and
Operation F.V. Matvienko
Russia, Voronezh,
e-mail: fmatvienko@yandex.ru
Ph.D student of Pulpit construction
and usages of the car roads
M.G. Pyatin
e-mail: maks.5uatin@mail.ru
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (473) 236-18-89*

В.А. Чернухин, А.С. Строкин, Ф.В. Матвиенко, М.Г. Пятин

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОЛЕИ В АСФАЛЬТОБЕТОННОМ ПОКРЫТИИ НА АВТОДОРОЖНЫХ МОСТАХ

В настоящее время одним из наиболее распространенных видов дефек-
тов является колейность. В работе представлен способ определения прочно-
стных характеристик материалов покрытия и температуры по глубине ко-
леи, являющийся составляющей метода прогнозирования колеестойкости
асфальтобетонного покрытия на автодорожных мостах.

Ключевые слова: Асфальтобетонное покрытие, полосе наката, температуры покрытия, ко-
лееобразования, дорожный битум, поверхность покрытия, интенсивность.

V.A. Chernukhin, A.S. Strokin, F.V. Matvienko, M.G. Pyatin

METHOD FOR DETERMINING THE TEMPERATURE OF THE TRACK IN ASPHALT CONCRETE PAVEMENT ON ROAD BRIDGES

Currently, one of the most common types of defects is trackway. The paper
presents a method for determining the strength characteristics of pavement mate-
rials and temperature based on the depth of the trackway, which is an integral part
of the method for predicting the track resistance of asphalt concrete pavements on
road bridges.

Keywords: Asphalt concrete pavement, rolling strip, coating temperature, rutting, road bitumen,
coating surface, intensity.

Выполненное исследование асфальтобетонных покрытий на мостах свидетельствует, что в настоящее время одним из наиболее распространенных видов дефектов является колейность. Установлен характер образования колеи и особенности дальнейшей интенсивности накопления колеи в асфальтобетонном покрытии от различных факторов соответствуют полученным ранее результатам различных исследователей.

Целью исследований является анализ дефектов асфальтобетонного покрытия мостов, на автомобильных дорогах общего пользования, натурные исследования по изучению колеобразования в асфальтобетонном покрытии и изменения температуры на мостах; экспериментальное определение функции релаксации и температурно-временной аналогии исследуемых асфальтобетонов в зависимости от времени действия нагрузки и температуры; анализ влияния различных факторов на интенсивность образования колеи в асфальтобетоне.

Приведены методы, позволяющие устанавливать физические, деформационные (накопление остаточных деформаций в виде колеи) и прочностные характеристики материалов покрытия, являющегося составляющей метода расчета колеестойкости асфальтобетонного покрытия на автодорожных мостах.

Метод заключается в визуальном обследовании поверхности асфальтобетонного покрытия на автодорожных мостах и характер колеобразования на их поверхности, а также глубину колеи с учетом интенсивности движения транспортных средств. При обследовании также на некоторых объектах выполняли отбор проб асфальтобетона с последующим их испытанием. Обследование осуществлялось на различных характерных участках асфальтобетонных покрытий автодорожных мостов, с разной интенсивностью движения.

Проведен анализ колейности на асфальтобетонном покрытии автодорожных мостов в разрезе области, различных технических категорий автомобильных дорог.

Проводилось исследование в изучении изменения температуры по глубине асфальтобетонного покрытия в полосе наката (колеи) покрытия на автодорожном мосту, в зависимости от изменения температуры окружающей среды, с привязкой данных к интенсивности движения транспортных средств.

Имелись теоретические предпосылки по повышению температуры покрытия в колее за счет влияния интенсивности движения транспортных средств и уменьшения общей толщины покрытия. Авторами проведены натурные исследования асфальтобетонного покрытия на автодорожных мостах, для проверки теоретических предпосылок, с помощью вспомогательного оборудования.

Средства испытаний и вспомогательное оборудование: термометр инфракрасный для измерения температуры с диапазоном измерений -32°C до 400°C ; термометр химический ртутный стеклянный, обеспечивающий измерение температуры до 100°C с ценой деления шкалы 1°C ; тепловизор; электродрель.

Порядок подготовки к проведению испытаний. При изучении изменения температуры в асфальтобетонном покрытии по глубине в качестве объекта исследования было принято два автодорожных моста. Перед испытанием выполнялись работы по бурению отверстий в асфальтобетонном покрытии диаметром 10 мм с помощью электродрели на разную глубину. В каждое из отверстий наливается вода с одинаковой температурой не ниже 20°C на глубину 20 мм, через 30 мин в данных отверстиях проводились измерения температуры.

Конструкция дорожной одежды на проезжей части путепровода:

1 – железобетонная плита; 2 – выравнивающий бетонный слой; 3 – гидроизоляция; 4 – два слоя асфальтобетона, верхний из ЩМА-16 на ПБВ 60, модифицированном полимером "ДСТ Р 30-01".

Необходимо определять влияние интенсивности транспортных средств на повышение температуры в полосе наката асфальтобетонного покрытия с помощью термометра инфракрасного и тепловизора.

Порядок проведения испытаний. Замеры температуры асфальтобетонного покрытия в полосе наката T_p и на его поверхности T_n выполняли с помощью инфракрасного термометра и тепловизора, а температуры T_{nc} , на разной глубине с помощью стеклянных ртутных термометров (таблица), а температуру $T_{ни}$ низа железобетонной плиты автодорожного моста T_p с помощью инфракрасного термометра и тепловизора определяли на протяжении суток. Результаты измерений температур записывались в рабочий журнал через каждый час.

Обработка результатов. Определение средней температуры покрытия в полосе наката T_p и на поверхности T_n , $T_{тн.с}$, а также на разной глубине T_1 , T_2 , T_3 , T_4 и температуру $T_{ни}$ низа железобетонной плиты автодорожного моста, а значение общего неравенства вычисляют, как для температуры покрытия T_n по формулой

$$\overline{T_n} = \frac{\sum_{i=1}^n T_n}{n},$$

где $\overline{T_n}$ – общая температура окружающей среды;

T_n – общая температура поверхности покрытия.

Среднеквадратичное отклонение общей температуры для поверхности покрытия вычисляется по формулам

$$\delta_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_n - \overline{T_n})^2}{n-1}}.$$

Экспериментальные исследования проводили на асфальтобетонах различной гранулометрии, а именно: традиционные асфальтобетоны мелкозернистые асфальтобетоны (тип Б), щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) и асфальтобетон литой (ЛА). Для приготовления асфальтобетонов различных видов использовался гранитный щебень кубовидной формы "Павловский ГОК", отсев измельчения гранитной горной породы "Павловский ГОК" и минеральный порошок. Асфальтобетоны изготовлены с использованием щебня размером 8-16 мм и 10-20 мм. Зерновые составы исходных минеральных материалов, предназначенные для приготовления выше приведенных асфальтобетонов, были определены методом экстрагирования.

Исследуемые асфальтобетоны на битумах дорожных марок БНД 50/70, и битумах, модифицированных полимерами марок: ДСТ Р 30-01, ПБВ 60, гидроизоляция-использовалась рулонная, мастиковая. Минеральные материалы по исследованным показателям физико-механических свойств соответствуют требованиям действующих в России нормативных документов и могут быть использованы для приготовления исследуемых асфальтобетонов.

Результаты анализа показали, что максимальная температура окружающей среды с 13-15 часов дня составляла 37 °С, а температура поверхности покрытия повысилась до 54 °С.

Таблица

Результаты измерения изменения температуры в полосе наката покрытие

Наименования	Температура наружного воздуха (T_{nc}) min-max	Температура покрытия (T_n)	Температура покрытия в колеи (T_p)	Δt	Интенсивность движения авт/сут, тыс
«Серверный мост»	24-35	34,8	36	1,2	Более 15
		36,9	38,3	1,4	
		37,5	39	1,5	
		37,6	39,1	1,5	
		37,8	38,8	1,0	
		38	40,1	2,1	
		38,3	40,2	1,9	
		38,5	40,3	1,8	
«Чернавский мост»	25-37	37,5	39,8	2,3	Более 10
		38,5	40,9	2,4	
		38,7	41,3	2,6	
		38,8	41,5	2,7	
		39,1	41,8	2,7	
		39,2	42	2,8	
		38,8	41,3	2,5	
		38,7	40,7	2,0	

Выводы

1. Максимальная температура, на которую может прогреваться асфальтобетонное покрытие на мостах, может быть, до 60 °С, а в полосы наката на 63 °С. результаты исследования изменения температуры в полосе наката асфальтобетонного покрытия повышалась на 1,0 – 2,8 °С, а в общем температура покрытия составляла 34,8-41,8 °С.

2. Полученные экспериментальные исследования подтверждают предположения относительно интенсивности воздействия пневматических колес транспортного средства на повышение температуры покрытия в полосе наката на температуру не менее 1-3 °С.

Библиографический список

1. Колбановская А. С. Дорожные битумы / Колбановская А. С., Михайлов В. В. – М.: «Транспорт», 1973. – 264 с.
2. Гохман Л.М., Золотарев В.А., Гезенцевей Л.Б. Исследование деформационной устойчивости асфальтобетона с применением ПБВ в статистическом и динамическом режимах деформирования: Труды СоюздорНИИ, 1977. - № 89. -С. 68-87.
3. Калгин Ю.И. Перспективные технологии строительства и ремонта дорожных покрытий с применением модифицированных битумов / Ю.И. Калгин, А.С. Строкин, Е.Б. Тюков. – Воронеж: ОАО Воронежская областная типография, 2014 г. – 224 с.
4. Калгин Ю.И. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов / Ю. И. Калгин - Воронеж: изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2006. – 272 с.
5. Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия на модифицированных битумах. /А.В. Руденский, Ю.И. Калгин; Воронеж.гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2009. – 143 с.

6. Жабцев. А.В. Повышение устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи на автодорожных мостах /Строкин А.С., Тюков Е.Б. / Научный журнал высокие технологии в строительном комплексе. – 2022. - №2. - С.131-135.
7. Жабцев. А.В. Повышение устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи на автодорожных мостах /Строкин А.С., Тюков Е.Б., Жуков Н.К. / Научный журнал высокие технологии в строительном комплексе. – 2023. - №1. - С.48-53. 135.
8. Жабцев. А.В. Принцип расчета устойчивости колееобразования асфальтобетонного покрытия на автодорожных мостах с железобетонной плитой /Строкин А.С., Матвиенко Ф.В. Сапиго Г.А. / Научный журнал высокие технологии в строительном комплексе. – 2025. - №1. - С.82-86.
9. Горелышев Н.В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы / Н.В. Горелышев. – М.: Можайск-Терра, 1995. – 176 с.
10. Molenaar, J.M.M. An investigation into the specification of rheological properties of polymer modified bitumen / J.M.M. Molenaar, E.T. Hagos, M.F.C. Van De Ven // Proceedings 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress. 12–14 may 2004. – Vienna, 2004. – P. 2080–2091.

References

1. Kolbanovskaya A. S. Road bitumen / Kolbanovskaya A. S., Mikhailov V. V.-M.: "Transport", 1973. - 264 p.
2. Gokhman L.M., Zolotarev V.A., Gezentsvey L.B. Investigation of deformation stability of asphalt concrete using PBB in statistical and dynamic modes of deformation: Proceedings of Soyuzdornii, 1977. - No. 89. - pp. 68-87.
3. Kalgin Yu. I. Promising technologies for construction and repair of road surfaces using modified bitumen / Yu. I. Kalgin, A. S. Strokin, E. B. Tyukov. - Voronezh: Voronezh regional printing house, 2014 – 224 p.
4. Kalyagin Yu.I. Road bitumen-mineral materials based on modified bitumen / Yu. I. Kalgin - Voronezh: Publishing House of Voronezh State University, 2006. - 272 p.
5. Rudensky A.V. road asphalt concrete coatings on modified bitumen. / A.V. Rudensky, Yu. I. Kalgin; Voronezh. state. arch. - builds. UN-T.-Voronezh, 2009. - 143 p.
6. Zhabtsev. A.V. Increasing the stability of asphalt concrete pavement to the formation of a track on road bridges /Strokin A.S., Tyukov E.B. / Scientific journal high technologies in the construction complex. - 2022. - No. 2. - pp.131-135.
7. Zhabtsev. A.V. Increasing the stability of asphalt concrete pavement to track formation on highway bridges /Strokin A.S., Tyukov E.B., Zhukov N.K. / Scientific Journal high technologies in the construction complex. – 2023. - No.1. - pp.48-53.
8. Zhabtsev, A.V. The principle of calculating the stability of asphalt pavement formation on highway bridges with reinforced concrete slabs /Strokin A.S., Matvienko F.V. Sapigo G.A. / Scientific Journal High Technologies in the construction complex. – 2025. - No. 1. - pp.82-86.
9. Gorelyshev N. V. asphalt Concrete and other bituminous materials / N. V. Gorelyshev. - M.: Mozhaishk-Terra, 1995. - 176 p.
10. Molenaar, J.M.M. An investigation into the specification of rheological properties of polymer modified bitumen / J.M.M. Molenaar, E.T. Hagos, M.F.C. Van De Ven // Proceedings 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress. 12–14 may 2004. – Vienna, 2004. – P. 2080–2091.