

# ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Научно-технический журнал

№2 2024



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](http://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](http://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**
- **PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES IN ENVIRONMENTS, 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 – д-р техн. наук, проф. Ю.Ф. Устинов  
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) 277-01-29, E-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)

© Воронежский  
государственный  
технический  
университет, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

### УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

|   |   |
|---|---|
| <b>Гуляев И.И., Никольская Н.Г., Китаев Д.Н.</b> Развитие инфраструктуры СПГ в долгосрочной перспективе ..... | 6 |
|---|---|

### ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

|   |    |
|---|----|
| <b>Горборукова А.Д., Семенова Э.Е.</b> Влияние объемно-планировочного решения на энергоэффективность зданий турбаз..... | 13 |
|---|----|

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

|  |    |
|--|----|
| <b>Жилин Р.А., Картавец Г.М., Ходцев В.С.</b> Применение инновационных материалов в строительстве..... | 19 |
|--|----|

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

|  |    |
|--|----|
| <b>Андреев А.В., Ерёмин А.В., Волокитин В.П., Волокитина О.А.</b> Особенности эксплуатации холодных шлаковых асфальтобетонных покрытий в зимний период времени .....                         | 23 |
| <b>Бугаева А.С., Плаксина Е.В.</b> Потери нефтепродуктов из нефтехранилищ.....   | 28 |
| <b>Еремин А.В., Волокитин В.П., Абрамов Ф.М., Корнилов Е.В.</b> Применение сверхпрочного фибробетона в дорожном строительстве .....  | 34 |
| <b>Никитин С.А., Дегтев Д.Н., Щиенко А.Н., Гетман А.И., Токарев К.А.</b> Влияние рабочей среды на уровень звукового давления в кабине дорожной шнекороторной снегоочистительной машины ..... | 38 |

### МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

|  |    |
|--|----|
| <b>Данилов Р.Г., Андрюхов Н.М., Заколodкин В.И., Литвак П.И.</b> Автотракторные двигатели строительных машин .....   | 41 |
| <b>Жидких Н.С., Мацокин Д.С., Андрейкин А.А., Логунова Е.А.</b> Организация процесса разработки автомобиля на примере студенческой инженерно-гоночной команды..... | 52 |
| <b>Жилин Р.А., Абдуллоев Н.Т.</b> Перспективы развития дорожно-строительной техники.....   | 56 |
| <b>Кондратьев А.В., Павлов Ю.Н., Масленников Д.Г., Беляков В.А., Соколов Ф.А.</b> Совершенствование конструкции барабанного грохота.....                           | 61 |
| <b>Масленников Д.Г., Кочканян С.М., Павлов Ю.Н., Кондратьев А.В.</b> Бульдозер с планировочным отвалом .....   | 65 |
| <b>Нилов В.А., Жулай В.А., Горбачев А.Е.</b> К расчету параметров управляемого вальца трехвальцового дорожного катка .....   | 69 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Трошко И.В., Чалова М.Ю.</b> Путь инструментов как основа малой механизации при текущем содержании подкрановых рельсовых путей..... | 74 |
| <b>Фомин В.И., Чалова М.Ю.</b> Обоснование режимов технологической обкатки элементов механических передач .....                        | 79 |

### **СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**

|  |    |
|--|----|
| <b>Барабанов А.С., Гамаюнова О.С.</b> Особенности проектирования панельных зданий из сборного железобетона в BIM-среде ..... | 84 |
|--|----|

### **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ**

|  |    |
|--|----|
| <b>Ариффуллин Е.З., Николенко С.Д., Щиенко А.Н.</b> Обеспечение безопасности по ликвидации пожароопасных ситуаций на производственных объектах .....     | 89 |
| <b>Еремин А.В., Волокитина О.А., Абрамов Ф.М., Корнилов Е.В.</b> Автоматизированная обработка результатов ультразвукового контроля качества бетона ..... | 93 |
| <b>Жилин Р.А., Картавец Г.М., Ходцев В.С.</b> Современные технологии, обеспечивающие безопасность и устойчивость земляных работ .....                    | 96 |

### **ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ, МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Лобков В.А., Щербинин В.В., Стеганцов Н.О., Чуев А.А., Волков Н.М.</b> Анализ вариантов применения способов очистки металла от ржавчины в условиях ремонтной мастерской автотранспортного предприятия ..... | 101 |
| <b>Сотникова М.А., Самойлова А.Д., Крючков А.Ю., Потехин И.А.</b> Исследование особенностей коррозии легких стальных тонколистовых конструкций .....   | 105 |

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК 338.27

*Воронежский государственный  
технический университет  
Студент кафедры теплогазоснабжения  
и нефтегазового дела  
И.И. Гуляев  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(952)100-87-64  
e-mail: ilya-gulyaev.03@mail.ru  
Студент кафедры теплогазоснабжения  
и нефтегазового дела  
Н.Г. Никольская  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(919)189-06-30  
e-mail: natasanikolskaa250547@gmail.ru  
Канд. техн. наук, доцент кафедры теплога-  
зоснабжения и нефтегазового дела  
Д.Н. Китаев  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(960)100-88-01  
e-mail: dkitaev@cchegeu.ru*

*Voronezh State  
Technical University  
Student of Department of Heat and Gas Supply  
and Oil and Gas Business  
I.I. Gulyaev  
Russia, Voronezh, tel. +7(952)100-87-64  
e-mail: ilya-gulyaev.03@mail.ru  
Student of the Department of Heat and Gas  
Supply and Oil and Gas Engineering  
N.G. Nikolskaya  
Russia, Voronezh, tel. +7(919)189-06-30  
e-mail: natasanikolskaa250547@gmail.ru  
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*

И.И. Гуляев, Н.Г. Никольская, Д.Н. Китаев

### РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ СПГ В ДОЛГОСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

На основе анализа сложившейся мировой и локальной ситуации в РФ в области СПГ, предложены 3 сценария перспективного развития в отрасли до 2035г. Проведение SWOT и PESTEL анализов развития позволили установить сильные и слабые стороны перспективного развития СПГ в России и определить основные риски и оценить их. Наиболее вероятным вариантом развития является базовый сценарий, предусматривающий внедрение наилучших доступных технологий преимущественно для преобладающих производственных процессов; привлечение инвестиций и концессионных соглашений для разработки и использования высокоэкологичных технологий; использование в качестве основного драйвера систему штрафов за превышение предельных значений выбросов для соблюдения экологического законодательства в области использования топлива; всестороннее развитие и поддержка программ по импортозамещению; стабильный тренд роста по основным показателям функционирования топливно-энергетического комплекса за планируемый период; внедрение энергоемких производств и увеличение внутреннего потребления; увеличение доли экспорта в нефтегазовой отрасли; повышение эффективности транспорта углеводородов, экологичности добычи ресурсов и уменьшение удельных выбросов в окружающую среду на единицу продукции.

**Ключевые слова:** сжиженный природный газ, газотранспортная инфраструктура, перспективное развитие, прогнозирование.

## LONG-TERM DEVELOPMENT OF LNG INFRASTRUCTURE

Based on the analysis of the current global and local situation in the Russian Federation in the field of LNG, 3 scenarios for the long-term development of the industry until 2035 are proposed. Conducting SWOT and PESTEL analyses of development allowed us to identify the strengths and weaknesses of the long-term development of LNG in Russia and to identify the main risks and assess them. The most likely development option is the baseline scenario, which provides for the introduction of the best available technologies primarily for the prevailing production processes; attracting investments and concession agreements for the development and use of highly environmentally friendly technologies; using a system of fines for exceeding emission limits as the main driver to comply with environmental legislation in the field of fuel use; comprehensive development and support of import substitution programs; a stable growth trend in the main performance indicators of the fuel and energy complex for the planned period; introduction of energy-intensive production and increase in domestic consumption; increase in the share of exports in the oil and gas industry; increase in the efficiency of hydrocarbon transportation, environmental friendliness of resource extraction and reduction of specific emissions into the environment per unit of production.

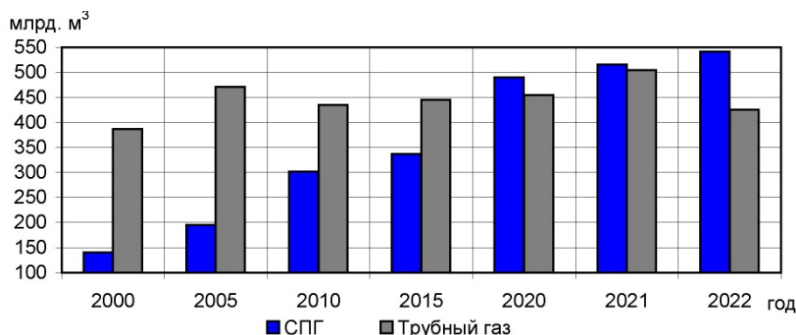
**Keywords:** liquefied natural gas, gas transportation infrastructure, prospective development, forecasting.

В экономике России топливно-энергетический комплекс (ТЭК) можно считать одним из центральных, составляющих базовую инфраструктуру, формирующим значительную часть доходов бюджета страны. Предприятия ТЭК в значительной степени способствуют научно-техническому прогрессу и являются крупными заказчиками для других смежных отраслей [1, 2]. В среднесрочной перспективе до 2035 года важными задачами развития энергетики РФ являются содействие социально-экономическому развитию страны, сохранение и укрепление позиций в мировой энергетике [3, 4].

Мир активно стремится к снижению углеродного следа и переходу к более экологичным источникам энергии [5]. Мировой рынок энергетики переживает период значительных изменений, где устойчивое развитие и переход к более чистым источникам энергии выходят на передний план. СПГ играет в этом процессе ключевую роль как один из наиболее экологичных исходных ресурсов, способных обеспечить необходимый баланс между экологической безопасностью и энергетической надёжностью. Развитие производства СПГ в России позволяет стране занять достойное место в ряду ведущих экспортёров этого вида топлива [6-8].

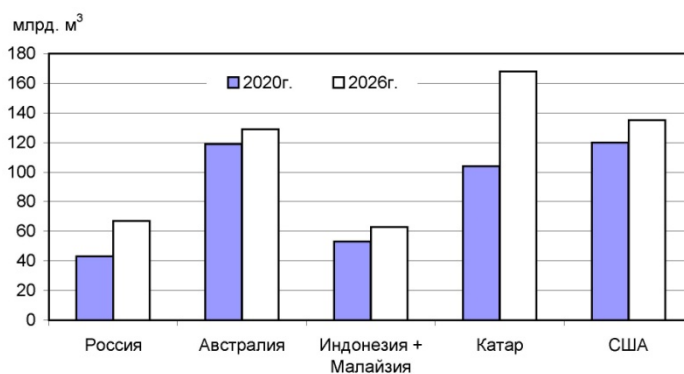
Спрос на СПГ в мире продолжает расти благодаря его высокой транспортабельности и возможности использования в различных секторах экономики: от бытового отопления и электроэнергетики до транспорта и промышленности. Россия обладает одними из крупнейших в мире запасами природного газа, что создаёт благоприятные предпосылки для развития производства СПГ. Активное освоение этих ресурсов и их эффективное использование с целью увеличения доли на мировом рынке СПГ становится стратегической задачей, решение которой требует комплексного подхода, включая развитие технологий, строительство новых заводов и транспортной инфраструктуры. Развитие производства СПГ в России открывает новые возможности для удовлетворения этого спроса, укрепления экономики и расширения экспортного потенциала страны [9, 10].

На рисунке 1 представлено изменение мирового импорта газа по способам поставки за период 2000 – 2022 г. Прослеживается устойчивая тенденция увеличения объемов торговли сжиженным природным газом. За рассмотренный период объем СПГ увеличился от 140 до 542 млрд. м<sup>3</sup>, т.е. в 3,87 раза. Также растет доля СПГ в общем объеме и за рассматриваемый период она изменилась с 26,5% в 2000 г., до 56% в 2022 г.



**Рис. 1.** Объемы мирового импорта природного газа

Положение России как одного из крупнейших игроков на мировом энергетическом рынке обуславливает важность развития экспортных маршрутов СПГ и укрепления энергетических партнёрств. В условиях меняющейся геополитической обстановки и конкуренции за рынки сбыта, развитие СПГ-проектов и инфраструктуры позволяет России наращивать экспортный потенциал и укреплять свои позиции на глобальном уровне. Развитие собственной газотранспортной инфраструктуры позволяет диверсифицировать маршруты поставок, снижая зависимость от традиционных трубопроводных экспортных путей и увеличивая гибкость в управлении энергоресурсами[11,12]. На рисунке 2 представлен объем поставок крупнейшими поставщиками СПГ по оптимистичному сценарию до 2026г. Как видно из рис.2, у основных поставщиков СПГ ожидается увеличение поставок в 2026г. в среднем в 1,31 раза. Наибольшее увеличение ожидается в Катаре и России, соответственно в 1,62 и 1,56 раза, наименьшее в Австралии 1,08.



**Рис. 2.** Объемы импорта СПГ крупных поставщиков

Развитие производства СПГ в России также важно с точки зрения экологии, поскольку переход на СПГ может существенно снизить объемы выбросов парниковых газов, уменьшить загрязнение воздуха и способствовать более устойчивому использованию энергетических ресурсов. Повышение экологических требований к источникам энергии и необходимость сокращения выбросов углекислого газа делают СПГ предпочтительным выбором для многих стран.

Производство и последующий транспорт СПГ требуют внедрения высокоэффективных технологий, что делает необходимым инновационное технологическое развитие в отрасли. Внедрение новейших разработок и улучшение эффективности производственных процессов способствуют повышению конкурентоспособности Российского СПГ на мировом рынке. Технологии СПГ включают в себя пять ключевых этапов и процессов такие как добыча и очистка, охлаждение, сжижение, хранение и транспортировка, регазификация. Технология производства СПГ постоянно совершенствуется для повышения эффективности, снижения затрат и обеспечения безопасности процессов.

Были разработаны сценарии, отражающие различные возможные перспективные условия развития отрасли: базовый, оптимистичный, пессимистичный. Применительно к проекту развития производства СПГ в России, SWOT-анализ представлен в таблице 1.

Таблица 1

SWOT анализ развития Российской Федерации в сфере СПГ

|            | Сильные стороны   | Слабые стороны  |
|------------|---|---|
| Внутренние | Обширные природные ресурсы: Россия обладает одними из крупнейших в мире запасами природного газа, что обеспечивает сильную стартовую позицию для развития производства СПГ. | Недостаточная развитость некоторых участков газотранспортной инфраструктуры.  |
|            | Накопленный опыт и технологии в области добычи и транспортировки природного газа.   | Технологические ограничения в производстве СПГ.   |
|            | Существующая развитая инфраструктура по добыче и транспорту.  | Значительные стартовые инвестиции в создание инфраструктуры и высокие капитальные вложения.   |
| Внешние    | Географическое положение: Удобное географическое положение для экспорта СПГ в Европу и Азиатско-Тихоокеанский регион.   | Высокая степень зависимости от внешнего финансирования и инвестиций.  |
|            | Диверсификация маршрутов поставок: Россия активно развивает различные маршруты поставок газа в Европу, что повышает надежность и устойчивость.                              | Ограниченный доступ к некоторым ключевым технологиям сжижения газа из-за санкционных ограничений.   |
|            | Взаимоотношения со стороны Китая, стран БРИКС, Африки для создания крупных проектов.  | Геополитические риски: Геополитические факторы могут повлиять на экспорт и инвестиции в СПГ.  |
| Внутренние | Возможности   | Угрозы  |
|            | Возрастание потребности в экологически чистых источниках энергии и спроса на них в мировом масштабе.  | Значительный объем инвестиций в разработку месторождений с инфраструктурой.   |
|            | Развитие инновационных технологий в области сжижения и последующего транспорта.   | Зависимость от иностранных технологий в области сжижения природного газа и строительства газотранспортной инфраструктуры может стать уязвимым местом при ужесточении санкций. |
| Внешние    | Политическая и экономическая поддержка государства для стратегически важных проектов в сфере СПГ.   | Ужесточение экологических норм и регуляций в отношении добычи и транспортировки углеводородов может повысить затраты и усложнить реализацию проектов.                         |
|            | Укрепление международного сотрудничества и партнерства.   | Международные санкции и политическая изоляция России могут ограничивать доступ к технологиям и зарубежным рынкам, усложнить привлечение иностранных инвестиций.               |
|            | Расширение географии экспорта за счет новых рынков в Азии и других регионах.  | Усиление конкуренции со стороны крупных производителей СПГ, таких как США, Катар, и Австралия.  |

Проведенный PESTEL анализ включает в себя оценку политических, экономических, социальных, технологических, экологических и правовых аспектов. Применение данного анализа позволяет выявить внешние факторы риска и возможности, что особенно важно для масштабных проектов в области энергетики, таких как развитие производства СПГ в России. Применительно к проекту развития производства СПГ в России, PESTEL-анализ представлен в таблице 2.

Таблица 2

PESTEL анализ развития Российской Федерации в сфере СПГ

| Категория рисков | Наименование фактора   | Вклад фактора (0...100) | Вклад категории |
|------------------|--|-------------------------|-----------------|
| Политические     | 1.Ограничение доступа к международным рынкам   | 97,5                    | 27,25           |
|                  | 2.Ограничение доступа к современным технологиям  | 85,00                   |                 |
|                  | 3.Ограничение доступа к финансам   | 82,50                   |                 |
|                  | 4.Внутренняя политическая нестабильность   | 80,00                   |                 |
|                  | 5.Изменения в законодательстве Российской Федерации  | 80,00                   |                 |
|                  | 6.Отказ иностранных инвесторов от международных проектов                                     | 80,00                   |                 |
|                  | 7.Отсутствие сотрудничества в разработке СПГ   | 77,50                   |                 |
|                  | 8.Нестабильность рынка сбыта   | 42,50                   |                 |
| Экономические    | 1.Низкие цены на углеводороды на проекты по производству СПГ                                 | 92,5                    | 15,57           |
|                  | 2.Сильные колебания курса рубля  | 85,00                   |                 |
|                  | 3.Критическое увеличение срока окупаемости проектов  | 84,00                   |                 |
|                  | 4.Увеличение логических издержек из-за санкций   | 72,50                   |                 |
|                  | 5.Нестабильность спроса на отечественные технологии  | 71,00                   |                 |
|                  | 6.Снижение международных и внутренних поставок ресурсов                                      | 62,00                   |                 |
|                  | 7.Снижение привлекательности инвестиции в проекты РФ по СПГ                                  | 60,00                   |                 |
| Социальные       | 1.Растущая обеспокоенность экологическими проблемами   | 45,00                   | 5,35            |
|                  | 2.Изменения в структуре населения и миграционные процессы                                    | 25,00                   |                 |
|                  | 3.Отрицательное отношение населения к производству углеводородов                             | 20,00                   |                 |
|                  | 4.Возрастание количества нарушений в сложных технологических процессах                       | 15,00                   |                 |
| Технологические  | 1.Ограниченный доступ к передовым технологиям в сфере СПГ                                    | 100,00                  | 7,91            |
|                  | 2.Недостаток инвестиций в исследования и разработках   | 82,50                   |                 |
|                  | 3.Увеличение количества аварийных ситуаций на НПЗ  | 82,50                   |                 |
|                  | 4.Опасность кибератак, диверсий и полетов БПЛА   | 75,00                   |                 |
|                  | 5.Замедление строительства инфраструктур, связанные с СПГ                                    | 72,50                   |                 |
|                  | 6.Снижение темпов внедрения технологии, из-за сложности в обслуживании новых оборудования    | 65,00                   |                 |
|                  | 7.Провал в проведении поисковых и геологических работ  | 62,50                   |                 |
| Экологические    | 1.Ужесточение международных и национальных требований к сокращению выбросов парниковых газов | 30,00                   | 6,26            |
|                  | 2.Риск аварий и утечек при добыче и транспортировке газа                                     | 27,50                   |                 |
|                  | 3.Отсутствие мотиваций в компаниях по политике экологичности                                 | 20,00                   |                 |
|                  | 4.Недобросовестное использование ресурсов в частных компаниях                                | 17,50                   | 6,26            |
|                  | 5.Увеличение природных катаклизмов   | 15,00                   |                 |
|                  | 6.Изменение спроса на топливо в связи с изменением климата                                   | 12,50                   |                 |
| Юридические      | 1.Введение новых налогов.  | 70,00                   | 21,45           |
|                  | 2.Ограничения на использование морских путей   | 67,50                   |                 |
|                  | 3.Экспортные ограничения.  | 62,50                   |                 |
|                  | 4.Введение новых экологических норм и регуляций  | 52,50                   |                 |
|                  | 5.Отсутствие нормативного репрезентативного регламента по сбору информации                   | 40,00                   |                 |
|                  | 6.Ужесточение требований экологического законодательства в части выбросов парниковых газов   | 37,50                   |                 |

## Выводы

Наиболее вероятным является внедрение базового сценария. Сравнение с другими сценариями идет за счет отклонения в случаях оптимистичного и негативного вектора развития. Шанс негативного сценария также существует, вследствие ведения внешних ограничений разных государств. Но такие ограничения в дальнейшем будущем могут стать и предпосылкой оптимистичного прогноза. Для негативного сценария расходы могут увеличиться на 15-20%, увеличиться срок выполнения разных работ (5%), а показатели уменьшаться на 10%, вследствие разных причин, но большинство из-за санкций. В свою же очередь, при оптимистичном прогнозе расходы уменьшаться на 15-20% (из-за экологичности СПГ), срок выполнения увеличиться (риски зависят от иностранных партнеров и внутреннего роста количества мастеров), показатели увеличатся на 20%.

Можно выделить наиболее весомые факторы, основополагающие для перспективного развития. 1. Рост производства СПГ в России: Производство сжиженного природного газа (СПГ) в России является одной из наиболее быстрорастущих и инвестиционно привлекательных отраслей промышленности. Крупные и среднетоннажные проекты, такие как "Сахалинская энергия", "Ямал СПГ", "Криогаз-Высоцк" и "Газпром СПГ Портовая", а также новые арктические проекты, способствуют увеличению объемов производства. 2. Внутренний рынок СПГ: Внутренний рынок СПГ включает автономную газификацию и использование газомоторного топлива. Государственные субсидии для инвесторов криоАЗС и малотоннажных заводов СПГ поддерживают развитие этого сегмента. 3. Планы на будущее: К 2035 году Россия планирует увеличить производство СПГ до 140 млн. тонн в год и занять около 20% мирового рынка благодаря низкой себестоимости добычи и конкурентной логистике. 4. Форумы и выставки: Международные форумы, такие как "СПГ: экономика, технологии, решения", предоставляют площадку для обсуждения актуальных вопросов развития отрасли СПГ в России и мире. Они объединяют экспертов, представителей компаний и специалистов отрасли.

## Библиографический список

1. Ульченко М.В. Производство сжиженного природного газа: особенности конкуренции на мировом рынке // *Фундаментальные исследования*. 2021. №4. С. 96–101.
2. Алексеенко Н.В., Черновский Д.А., Затолокина М.Ю. Влияние российской экономики на мировой энергетический рынок сжиженного природного газа // *Транспортное дело России*. 2023. № 6. С. 277–281.
3. Мартыненко Г.Н., Китаев Д.Н. Перспективы развития системы газоснабжения городского округа г. Воронеж на период до 2035 г // *Научный журнал строительства и архитектуры*. 2018. №3(51). С. 11–21.
4. Марченко С.С., Матвеева А.А. Расширение производства сжиженного природного газа как инновационное направление развития транспортной отрасли. // *Современные проблемы инновационной экономики*. 2023. №9. С. 305–307.
5. Диагностика загрязнения окружающей среды и комплексный подход к ее защите / М.Ю. Копытина, Д.Н. Китаев, Т.В. Щукина, Е.А. Апойкова // *Экология и промышленность России*. 2017. Т. 21. №4. С. 59–63.
6. Галямова Э.Ф. Трансформация глобального рынка сжиженного природного газа. // *Components of Scientific and Technological Progress*. 2023. №3 (81). С. 66–70.
7. Бабордина О.А., Васильчиков А.В., Франк Е.В. Региональные аспекты формирования процесса по производству сжиженного природного газа // *Вестник Самарского государственного экономического университета*. 2023. № 10 (228). С. 26–37.

8. Федорова Е.Б. Новые вызовы и возможности для российской индустрии сжиженного природного газа в современных условиях // Научный журнал Российского газового общества. 2024. №2(44). С. 114–120.

9. Китаев Д.Н., Тульская С.Г. Расчет технологических процессов и оборудования автозаправочных станций. Учебно-методическое пособие / Воронеж, 2021.

10. Коэффициент сжимаемости природного газа расчетного состава / Д.Н. Китаев, Д.О. Недобежкин, В.М. Богданов, Т. Бейманов Т. // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2019. №1 (14). С. 29–33.

11. Купцов Н.В., Лилль А.В. Современное состояние и возможные перспективы использования танк-контейнеров сжиженного природного газа.// Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2023. Т. 15.№2. С. 247–261.

12. Михайлова Е.О., Китаев Д.Н. Прогнозирование гидравлических характеристик газопроводных сетей на газораспределительных пунктах // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2017. №3(8). С. 23–29.

#### References

1. Ulchenko M.V. Production of liquefied natural gas: features of competition in the global market // Fundamental research. 2021. No. 4. P. 96–101.

2. Alekseenko N.V., Chernovsky D.A., Zatolokina M.Yu. The influence of the Russian economy on the global energy market of liquefied natural gas // Transport business of Russia. 2023. No. 6. P. 277–281.

3. Martynenko G.N., Kitaev D.N. Prospects for the development of the gas supply system of the urban district of Voronezh for the period up to 2035 // Scientific journal of construction and architecture. 2018. No. 3 (51). P. 11–21.

4. Marchenko S.S., Matveeva A.A. Expansion of liquefied natural gas production as an innovative direction for the development of the transport industry. // Modern problems of innovative economics. 2023. No. 9. P. 305–307.

5. Diagnostics of environmental pollution and an integrated approach to its protection / M. Yu. Kopytina, D. N. Kitaev, T. V. Shchukina, E. A. Apoykova // Ecology and industry of Russia. 2017. Vol. 21. No. 4. P. 59–63.

6. Galyamova E. F. Transformation of the global liquefied natural gas market. // Components of Scientific and Technological Progress. 2023. No. 3 (81). P. 66–70.

7. Babordina O. A., Vasilchikov A. V., Frank E. V. Regional aspects of the formation of the liquefied natural gas production process // Bulletin of the Samara State University of Economics. 2023. No. 10 (228). P. 26–37.

8. Fedorova E.B. New Challenges and Opportunities for the Russian Liquefied Natural Gas Industry in Modern Conditions // Scientific Journal of the Russian Gas Society. 2024. No. 2 (44). P. 114–120.

9. Kitaev D.N., Tulsкая S.G. Calculation of Technological Processes and Equipment for Gas Stations. Tutorial / Voronezh, 2021.

10. Compressibility Factor of Natural Gas of Calculated Composition / D.N. Kitaev, D.O. Nedobezhkin, V.M. Bogdanov, T. Beimanov T. // Urban Development. Infrastructure. Communications. 2019. No. 1 (14). P. 29–33.

11. Kuptsov N.V., Lill A.V. Current status and possible prospects for the use of liquefied natural gas tank containers.// Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. 2023. Vol. 15. No. 2. P. 247–261.

12. Mikhailova E. O., Kitaev D. N. Forecasting hydraulic characteristics of gas pipeline networks at gas distribution points // Urban development. Infrastructure. Communications. 2017. No. 3 (8). P. 23–29.

# **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 699.86

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доц. кафедры  
проектирования зданий и сооружений  
им. Н.В. Троицкого Э.Е. Семенова  
Магистр кафедры проектирования зданий и  
сооружений  
им. Н.В. Троицкого А.Д. Горборукова  
Россия, г.Воронеж, тел. +79616155035  
e-mail: s\_poolg@mail.ru*

*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.D. Gorborkova  
Russia, Voronezh, tel. +79616155035  
email: s\_poolg@mail.ru*

А.Д. Горборукова, Э.Е. Семенова

## **ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ ТУРБАЗ**

В данной статье рассмотрен анализ влияния объемно-планировочного решения турбаз или комплексов временного проживания на повышение энергоэффективности, что позволяет улучшить энергоэффективность..

**Ключевые слова:** энергоэффективность зданий, теплоизоляция стен, автоматизация, оптимизация, отопление, вентиляция, малоэтажное строительство, качественное жилье, комфортное жилье.

A.D. Gorborkova, E.E. Semenova

## **THE INFLUENCE OF SPACE-PLANNING SOLUTIONS ON THE ENERGY EFFICIENCY OF CAMP SITES**

This article discusses the analysis of the impact of the spatial planning solution of camp sites or temporary accommodation complexes on improving energy efficiency, which makes it possible to improve energy efficiency.

**Keywords:** energy efficiency of buildings, thermal insulation of walls, automation, optimization, heating, ventilation, low-rise construction, high-quality housing, comfortable housing.

Энергосбережение является одной из наиболее значимых задач современности. Мировое потребление энергии неуклонно растёт, и в 2024 году этот показатель увеличился на 2% по сравнению с предыдущим годом.

В России особое внимание уделяется вопросам энергетической эффективности зданий, строений и сооружений. Это направление является одним из приоритетных в развитии науки и технологий.

Согласно программе, разработанной до 2020 года, строительство играет ключевую роль в обеспечении энергетической эффективности. Россия, как одна из самых холодных стран мира, нуждается в эффективных системах производства и транспортировки тепловой энергии, а также в оптимизации её потребления.

Массовая застройка, сохранившаяся в памятниках архитектуры России, имеет отличительную особенность – небольшие оконные и дверные проёмы, а также толстые стены.

В XX веке произошёл строительный бум, который привёл к увеличению теплопотерь в зданиях. Дома, построенные в 1950...1960 годах, имели большие теплопотери из-за низких строительных норм по теплоизоляции.

Министерство строительства РФ выпустило ряд документов, направленных на регулирование норм энергопотребления. Для снижения потребления энергии необходим системный подход на всех этапах проектирования, строительства и эксплуатации зданий.

Основные потери ресурсов связаны с транспортировкой, распределением и учётом тепловой энергии. Однако наибольшие потери происходят на этапе эксплуатации зданий.

По данным Департамента архитектуры РФ, здания теряют 45% тепла через стены, 33% - через окна и 25% - через крышу.

Расход тепла на отопление здания зависит от его геометрических параметров и функционально-объёмного коэффициента. Из-за множества факторов, влияющих на оптимальный модуль ячейки, невозможно разработать единое решение. Необходимо рассматривать совокупность вариантов и факторов.

При расчёте несущих конструкций необходимо учитывать надёжность, экологичность и экономическую составляющую для минимизации расхода строительных материалов.

Жизненный цикл здания можно разделить на несколько этапов с точки зрения энергопотребления: проектирование (минимальное потребление энергии), возведение (потребление энергии на производство материалов и работы по строительству), эксплуатация, капитальный ремонт и утилизация.

В середине XX века был внедрён метод проектирования зданий с «условно минимальными теплопотерями». Согласно этому методу, высота здания (H) определяется следующей формулой

$$H = 0,64 \cdot \sqrt{V_H \cdot k_{ID}}, \quad (1)$$

Размер стороны основания, м, определяется формулой

$$a' = 1,26 \cdot \sqrt[3]{V_i \cdot k_{ID}}, \quad (2)$$

где  $V_H$  – наружный объём здания, м<sup>3</sup>;

$k_{IP}$  – приведенный коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup> °С), горизонтальных наружных ограждений;

$$k_{IP} = (a \cdot k_{ПЛ} + b \cdot k_{ПТ}) / k_{Э}, \quad (3)$$

где  $a, b$  – корректирующие коэффициенты для учёта разницы температур, рассчитанной для верхнего перекрытия и пола;

$k_{Э}$  – приведенный коэффициент теплопередачи вертикальных ограждений

$$k_{Э} = k_C + p_{ост} (k_O - k_C), \quad (4)$$

где  $k_C, k_O, k_{ПЛ}, k_{ПТ}$  – коэффициент теплопередачи соответственно стен, окон, пола и потолка;  $p_{ост}$  – коэффициент остекления.

Уменьшение потерь и поступлений теплоты через наружные стены зданий, имеющих квадратную и круглую форму в плане, по сравнению с прямоугольными, можно оценить в первом приближении, используя график изменения относительных периметров (рис. 1).

1 – P = РКВ / P;

2 – P = РКР / P.

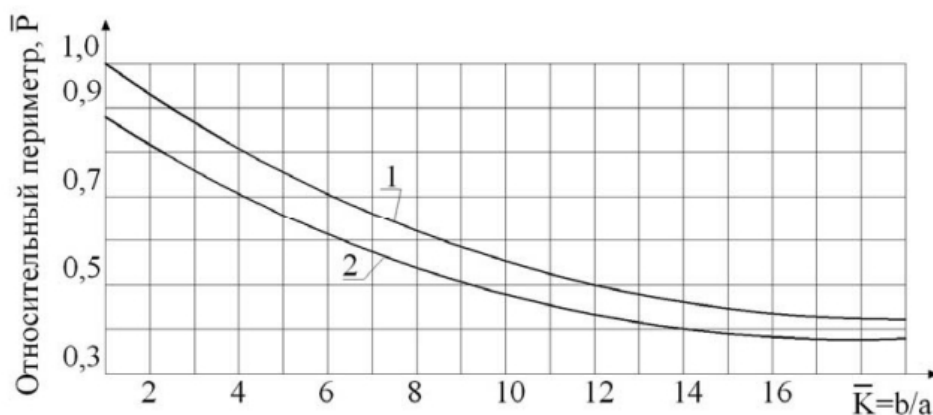


Рис. 1. График изменения относительных периметров

Здание, имеющее форму прямоугольника, у которого стороны соотносятся как 10:1, можно сравнить с квадратным и круглым зданиями, имеющими равную площадь, но меньшими по периметру на 43% и 50% соответственно.

По мнению экспертов, в будущем всё больше будет проявляться тенденция к созданию общественных зданий с нестандартной архитектурой, таких как пирамиды, цилиндры, сферы и цилиндра. Это позволит сократить расход строительных материалов на ограждения и уменьшить затраты на системы кондиционирования, вентиляции и отопления.

При проектировании и выборе объемно-планировочной схемы необходимо обосновать размеры и пропорции нескольких планировочных параметров. К таким параметрам относятся ширина и длина здания, периметр фасада, этажность и площадь ограждающих конструкций на единицу развернутой площади или объема здания. Данные показатели применяются для определения теплотерь планировочных решений. [4]

Одним из таких решений является изменение формы здания. Чем больше площадь стен, тем больше теплотери.

Рассмотрим, как изменение формы здания может помочь сократить теплотери без ущерба для жилой площади.

Для сравнения рассмотрим три варианта формы: прямоугольную, «Г»-образную и круглую для одноэтажного жилого здания площадью 180 м<sup>2</sup> и высотой потолков 3 м. Материал стен не имеет значения, но для расчётов предположим, что это газобетонные блоки толщиной 40 см без утепления (рис. 2).

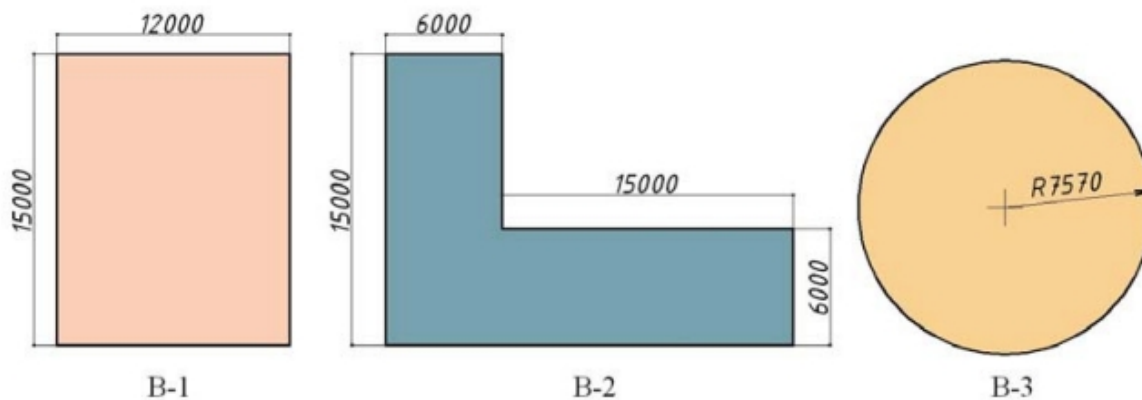


Рис. 2. Варианты формы здания в плане

В каждом из рассматриваемых случаев общая площадь жилого пространства составляет 180 квадратных метров. Однако площадь наружных стен в каждом из случаев различается: в первом случае она составляет 162 квадратных метра, во втором – 216 квадратных метров, а в третьем – 142,6 квадратных метра.

Проведя необходимые расчёты, мы определили, во сколько раз превосходят тепловые потери здания через стены, а также вычислили, сколько кубометров газа потребуется для их компенсации.

При наружной температуре воздуха 0°C и внутренней температуре +22°C, а также при длительности отопительного периода в 150 суток, скорости ветра 3 м/с и стоимости газа 6,98 рублей за кубометр, теплотери на 1 квадратный метр стены составят 7,85 Вт/ч (табл).

Таблица

Варианты формы здания в плане

| Характеристики                        | В-1   | В-2   | В-3   |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|
| Площадь наружных стен, м <sup>2</sup> | 162   | 216   | 142,6 |
| Суточные теплотери, кВт               | 24,53 | 32,71 | 11,2  |
| Теплотери за год, кВт                 | 3 680 | 4 906 | 3240  |
| Расход газа, м <sup>3</sup> /год      | 528,7 | 704,9 | 465,4 |
| Затраты за год, руб.                  | 3690  | 4 920 | 3248  |
| Переплата за отопление, руб/год       | 442   | 1672  | -     |

В каждом здании углы выполняют роль своеобразных мостиков холода. В квадратном здании их четыре, в «Г»-образном – шесть, а в круглом – нет. Однако если здание имеет сложную форму, то и углов будет больше, что приведёт к увеличению теплотери и, как следствие, к дополнительным затратам на отопление.

Выбор формы здания - один из ключевых аспектов при строительстве энергоэффективных зданий. Оптимальной формой для сохранения тепла является круглая.

Круглая форма здания, отличающаяся своеобразием в архитектурном оформлении, широко применяется в строительстве, особенно в регионах с суровым и холодным климатом.

При выборе параметров, влияющих на расход тепловой энергии на отопление здания, были определены шесть основных факторов:

- Этажность здания.
- Высота этажа.
- Ширина здания при постоянной площади секции.
- Отношение площади светопрозрачных проёмов к площади стандартных проёмов для южной ориентации главного фасада.
  - Отношение площади светопрозрачных проёмов к площади стандартных проёмов для северной ориентации дворового фасада.
  - Ориентация здания по сторонам света.

Этажность, высота и ширина здания влияют на его объём и площадь наружных стен.

Многоэтажные здания подвержены воздействию сильных вихревых потоков, которые создают дополнительные нагрузки на конструкцию и приводят к неблагоприятным погодным и микроклиматическим условиям для самого здания. [4]

Отношение площадей светопрозрачных проёмов, ориентированных на разные стороны света, определяет количество окон и остекления балконных дверей. Это, в свою очередь, влияет не только на теплотери через эти конструкции, но и на поступление тепла в помещения здания.

Ориентация продольной оси здания определяет степень воздействия солнечной радиации на количество поступающей тепловой энергии.

Снижение энергопотребления в строительстве - комплексная задача, которая должна решаться с учётом различных аспектов: объёмно-планировочных, конструктивно-технологических, организационно-экономических и экологических. Однако первым шагом к снижению энергопотребления строящихся зданий должна стать оптимизация объёмно-планировочного решения с целью уменьшения расхода тепловой энергии на отопление.

До 90% потребления энергии приходится на этап эксплуатации здания. Поэтому именно на этапе проектирования можно разработать архитектурно-строительные идеи, которые позволят выбрать оптимальный вариант с учётом строительных норм и технических характеристик проекта.

#### Библиографический список

1. Архитектурное формирование регионального жилища. Типология и прогнозирование: Межвузовский сборник / Под ред. Л.П. Лавров, Молчанов В.М. – Ростов н/Д: Рост. архит. ин-т, 1993. - 49с.
2. Архитектура российского села. Региональный аспект: учебное пособие / Л.В. Хихлуха, Р.Д. Багиров, С.Б. Моисеева, Н.М. Согомоян. – М.: Архитектура - С, 2005. - 208 с.
3. Архитектурное проектирование жилых зданий / Под ред. М.В. Лисициана, Е.С. Пронина. – Стер. изд. Рек. УМО. – М.: Архитектура-С, 2010. – 488 с.
4. Семенова Э.Е. Влияние объёмно-планировочного решения на энергоэффективность зданий / Э.Е. Семенова, Ю.В. Умникова // Высокие технологии в строительном комплексе. 2023. № 2. С. 32-36.
5. Скороходова А.А. Повышение энергоэффективности зданий и сооружений / А.А. Скороходова, Э.Е. Семенова // В сборнике: Будущее науки -2020. Сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции, в 5-х томах. Курск, 2020. С. 127-130.
6. Гринфельд Г.И., Куптараева П.Д. Кладка из автоклавного газобетона с наружным утеплением. Особенности влажностного режима в начальный период эксплуатации// Инженерно-строительный журнал — №8, 2011. Неуловимая энергоэффективность // Промышленно-строительное обозрение, 2011. – №123.
7. Гагарин В.Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций здания // Труды 1 Всероссийской научно-технической конференции 26-27 июня 2008 года. Строительная теплотехника: актуальные вопросы нормирования.
8. Табунщиков Ю.А., Ливчак В.И., Гагарин В.Г., Шилкин Н.В. Пути повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий // АВОК, 2009. – №5.
9. Технологии для экологического строительства [Электронный ресурс]. URL: <https://green-life.livejournal.com/273817.html> (дата обращения 01.06.2019)
10. Рубцова М. В. Учет влияния формы здания на его энергоэффективность / М.В. Рубцова, Э.Е. Семенова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. №2 (36). С. 10-15.
11. Исанова А.В. Применение современной теплоизоляции на основе аэрогеля при проектировании энергоэффективных зданий эллипсоидной формы / А.В. Исанова, Е.Д. Кретова, В.И. Лукьяненко / Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2023. №4 (46). С. 19 -23.

## References

1. Architectural design of regional housing. Typology and forecasting: Interuniversity collection / Ed. L.P. Lavrov, Molchanov V.M. – Rostov n/a: Rost. architect Institute, 1993.p. 49
2. Architecture of the Russian village. Regional aspect: textbook / L.V. Khikhlikha, R.D. Bagirov, S.B. Moiseeva, N.M. Soghomonyan. – M.: Architecture – S, 2005. – 208 p.
3. Architectural design of residential buildings / Ed. M.V. Lisitsiana, E.S. Pronina. - Erase. ed. Rec. UMO. – M.: Architecture-S, 2010. – 488 p.
4. Semenova E.E. The influence of volume planning solutions on the energy efficiency of buildings / E.E. Semenova, Yu.V. Umnikova // High technologies in the construction complex. 2023. No. 2. pp. 32-36.5. Skorokhodova A.A. Increasing the energy efficiency of buildings and structures / A.A. Skorokhodova, E.E. Semenova // In the collection: The Future of Science -2020. Collection of scientific articles of the 8th International Youth Scientific Conference, in 5 volumes. Kursk, 2020. pp. 127-130.
6. Grinfeld G.I., Kuptaraeva P.D. Masonry made of autoclaved aerated concrete with external insulation. Features of the humidity regime during the initial period of operation // Engineering and Construction Journal - No. 8, 2011. Elusive energy efficiency // Industrial Construction Review, 2011. - No. 123.
7. Gagarin V.G. Economic analysis of increasing the level of thermal protection of building envelopes // Proceedings of the 1st All-Russian Scientific and Technical Conference, June 26-27, 2008. Construction heating engineering: current issues of regulation.
8. Tabunshchikov Yu.A., Livchak V.I., Gagarin V.G., Shilkin N.V. Ways to improve the energy efficiency of buildings in use // ABOK, 2009. – No. 5.
9. technologies for ecological construction [Electronic resource]. URL: <https://green-life.livejournal.com/273817.html> (access date 06/01/2019)
10. Rubtsova M. V. Accounting for the influence of the shape of a building on its energy efficiency / M.V. Rubtsova, E.E. Semenova // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian region. 2021. No.2 (36). pp. 10-15.
11. Isanova A.V. The use of modern thermal insulation based on aerogel in the design of energy-efficient ellipsoid buildings / A.V. Isanova, E.D. Kretova, V.I. Lukyanenko / Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea. 2023. No.4 (46). pp. 19-23.

# **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

УДК 621.436

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доц. кафедры  
строительной техники и инженерной  
механики имени профессора Н.А. Ульянова  
Р.А. Жилин  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 271-59-18  
e-mail: zhilinra@yandex.ru  
Магистранты дорожно-транспортного  
факультета  
Г.М. Картавец, В.С. Ходцев  
Россия, г. Воронеж*

*Voronezh State  
Technical University  
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) 271-59-18  
e-mail: zhilinra@yandex.ru  
Master's students of the Road and Transport  
Faculty  
G.M. Kartavcev, V.S. Hodcev  
Russia, Voronezh*

Р.А. Жилин, Г.М. Картавец, В.С. Ходцев

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

В статье рассмотрены иновационные материалы, указывается вклад компании «Газпромнефть». Рассмотрены виды материала геосинтетика. Показана важность развития дорог в России.

**Ключевые слова:** иновационные материалы, полимерно-битумные вяжущие, виды геосинтетики, армирование дорожного полотна.

R.A. Zhilin, G.M. Kartavcev, V.S. Hodcev

## **THE USE OF INNOVATIVE MATERIALS IN CONSTRUCTION**

The article discusses innovative materials, indicates the contribution of «Gazpromneft». The types of geosynthetics material are considered. The importance of road development in Russia is shown

**Keywords:** innovative materials, polymer-bitumen binders, types of geosynthetics, reinforcement of the roadway.

XXI век выделился широким использованием новейших технологий при строительстве дорожного полотна. Как показала практика, создание и совершенствование транспортной инфраструктуры существенно ускоряет развитие других экономических отраслей страны в целом. В связи с этим подчеркивается важность и необходимость использование инновационных материалов в дорожном строительстве.

На данный момент в России уделяется большое внимание строительству и ремонту дорог. Именно в этом направлении реализуются национальные проекты, федеральные и региональные программы. В сфере технологий постоянно происходит создание уникального оборудования и ведется разработка новых материалов, которые могут продлить срок службы дорожного полотна.

В пример инновационных материалов можно привести полимерно-битумные вяжущие, используемые для строительства и ремонта дорог. Именно ПБВ делают покрытие более устойчивым к деформациям и разрушению. Такой высокотехнологичный битум уже нашел применение при ремонте главных магистралей Санкт-Петербурга.



**Рис. 1.** Применение современных битумных вяжущих в Санкт-Петербурге

Здесь же применяется еще одна современная технология для герметизации стыков в асфальтобетонном покрытии – жидкая битумно-полимерная лента. Стык является самым слабым местом в дорожном полотне, так как именно с него, начинается разрушение асфальта. Применение состава на основе битума позволяет продлить срок службы дорожного покрытия за счет качественной герметизации шва. Для эффективного применения данной технологии был разработан специальный модуль.



**Рис. 2.** Модуль для применения жидкой битумно-полимерной ленты на асфальтоукладчике

Модуль был внедрен компанией «Газпромнефть» и считается отечественной разработкой. По заявлению производителя, полной загрузки такого устройства должно хватить на укладку 300-400 метров асфальта. Таким образом это позволяет улучшить качество укладки, повышает производительность труда и удобство работы.

Также для улучшения качества дорожного покрытия внедрен современный искусственный материал – геосинтетика, который обладает высокой стойкостью. В свою очередь данный материал применяется в нескольких разных формах:

- геотекстиль – высокопрочное полотно применяется для формирования дренажного слоя и для прокладки между слоями дорожного «пирога»;
- геомат используется для защиты откосов и монтажа подпорок;
- георешетка придает прочность дорожному покрытию;
- геокомпозит как и геотекстиль служит для формирования дренажного слоя

Такое использование геосинтетики дает возможность сокращать сроки прокладки дороги, работать в любое время года и уменьшать трудозатраты.

На примере процесса армирования можно рассмотреть практическую часть применения разных видов геосинтетики. Эта технология укладки дорожной сетки состоит из нескольких этапов:

1. Стальной каркас укладывают на подготовленную подложку и надёжно закрепляют анкерами, исключая его случайное смещение в процессе проведения работ.

2. Отдельные листы материала кладут друг на друга внахлест, затем сваривают или связывают проволокой в местах пересечения.

3. Сверху насыпают слой щебня, фракция которого подбирается в зависимости от габаритов сетки таким образом, чтобы диаметр камней был в два раза меньше размера ячеек.

4. Уложенный слой щебенки трамбуют с помощью дорожного катка, после чего сверху укладывают слой асфальтового, бетонного, битумного или комбинированного покрытия.



**Рис. 3.** Армирование дорожного полотна полиэфирной геосеткой

В России геосинтетические материалы на данный момент применяют при строительстве федеральных трасс, небольших автодорог и укладки пешеходных дорожек.

Таким образом внедрение инновационных технологий и материалов необходимо для развития устойчивой транспортной инфраструктуры. В свою очередь для активного внедрения инноваций необходимо не только менять нормативную базу, но и пересматривать вопрос об устаревшей программе обучения в российских строительных университетах, делая высшие учебные заведения ориентированными на новые современные технологии проектирования и строительства автотранспортных путей.

## Библиографический список

1. Артем Кузнецов. Эффективность, долговечность и безопасность: новые технологии на петербургских дорогах: устройство и принцип работы – <https://stroygaz.ru/publication/technologies/effektivnost-dolgovechnost-i-bezopasnost-novye-tekhnologii-na-peterburgskikh-dorogakh/>
2. Мегатех. Геосетки дорожные – <https://megateh-dv.ru/geosetka/>
3. Собирова Д.К., Кобилова Д.Ф., Эшкулов С.Ф. Применение инновационных материалов в строительстве – <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-innovatsionnyh-materialov-v-stroitelstve-avtomobilnyh-dorog>
4. Инновации в дорожном строительстве – <https://sumpro.ru/articles/article?id=382>
5. Новейшие материалы в строительстве дорог – <https://asfaltirovanie-msk.ru/novejshie-materialy/>

## References

1. Artyom Kuznetsov. Efficiency, durability and safety: new technologies on St. Petersburg roads: design and principle of operation – <https://stroygaz.ru/publication/technologies/effektivnost-dolgovechnost-i-bezopasnost-novye-tekhnologii-na-peterburgskikh-dorogakh/>
2. Megatech. Road Geogrid – <https://megateh-dv.ru/geosetka/>
3. Sobirova D.K., Kobilova D.F., Eshkulov S.F. Application of innovative materials in construction – <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-innovatsionnyh-materialov-v-stroitelstve-avtomobilnyh-dorog>
4. Innovations in road construction – <https://sumpro.ru/articles/article?id=382>
5. The latest materials in road construction – <https://asfaltirovanie-msk.ru/novejshie-materialy/>

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА**

УДК 625. 855. 42

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доц. кафедры проектиро-  
вания автомобильных дорог и мостов*

*А.В. Андреев*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-76-83-91*

*e-mail: autodor.kaf@cchgeu.ru*

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры проектиро-  
вания автомобильных дорог и мостов*

*А.В. Еремин*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-76-83-91*

*e-mail: autodor.kaf@cchgeu.ru*

*Кандидат технических наук, доцент кафед-  
ры проектирования автомобильных дорог  
и мостов В.П. Волокитин*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-76-83-91*

*e-mail: autodor.kaf@cchgeu.ru*

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Кандидат технических наук, доцент кафед-  
ры проектирования автомобильных дорог  
и мостов О.А. Волокитина*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-76-83-91*

*e-mail: autodor.kaf@cchgeu.ru*

*Voronezh State*

*Technical University*

*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: autodor.kaf@cchgeu.ru*

*Voronezh State*

*Technical University*

*Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor of the Department of Highway  
and Bridge Engineering A.V. Eremin*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-76-83-91*

*e-mail: autodor.kaf@cchgeu.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: autodor.kaf@cchgeu.ru*

*Voronezh State*

*Technical University*

*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: autodor.kaf@cchgeu.ru*

**А.В. Андреев, А.В. Ерёмин, В.П. Волокитин, О.А. Волокитина**

### **ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХОЛОДНЫХ ШЛАКОВЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ**

В районах с развитой металлургической промышленностью для строительства покрытий автомобильных дорог часто используют отходы производства – доменные шлаки. Многочисленными исследованиями подтверждена возможность применения различных разновидностей шлаковых материалов для приготовления горячих и холодных асфальтобетонных смесей.

Шлаковые асфальтобетоны имеют ряд характерных свойств и отличий от традиционно применяемых асфальтобетонов.

В статье представлен анализ транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог с покрытиями из холодных шлаковых асфальтобетонов. Показано, что такие свойства шлаковых асфальтобетонов как остаточная пористость, водонасыщение, шероховатость способствуют повышению транспортно-эксплуатационных параметров дороги в период зимней эксплуатации.

**Ключевые слова:** асфальтобетон, металлургический шлак, холодный асфальтобетон, транспортно-эксплуатационные показатели, зимняя скользкость.

## FEATURES OF OPERATION OF COLD SLAG ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS IN WINTER

In areas with a developed metallurgical industry, industrial waste - blast furnace slag - is often used for the construction of road surfaces. Numerous studies have confirmed the possibility of using various types of slag materials for the preparation of hot and cold asphalt concrete mixtures.

Slag asphalt concretes have a number of characteristic properties and differences from traditionally used asphalt concretes.

The article presents an analysis of transport and operational indicators of highways with coatings of cold slag asphaltic concrete. It is shown that such properties of slag asphalt concretes as residual porosity, water saturation, and roughness contribute to an increase in the transport and operational parameters of the road during winter operation.

**Keywords:** asphalt concrete, metallurgical slag, cold asphalt concrete, transport and operational performance, winter slipperiness.

Основными транспортно-эксплуатационными показателями (ТЭП) любой автомобильной дороги являются ровность покрытия и ее сцепные качества, а также прочность дорожной одежды, которая может оцениваться наличием или отсутствием различных дефектов на покрытии. Все эти показатели определяют скоростной режим движения транспортных потоков.

Наибольшее воздействие на транспортно-эксплуатационные параметры происходит в зимний период времени, когда уровень транспортно-эксплуатационного состояния дороги снижается из-за образующейся на покрытии скользкости, скорость движения снижается.

В нормативной литературе практически не рассмотрены вопросы влияния вида минерального материала асфальтобетона в верхних слоях покрытия на транспортно-эксплуатационные показатели дороги. В Центральном Черноземье в сфере дорожного строительства нашли применение шлаковые асфальтобетоны. Их свойства зависят от минерального материала – металлургического шлака – отходом металлургической промышленности.

Основные отличия между шлаковым и традиционным асфальтобетоном заключаются в повышенной их шероховатости, остаточной пористости при более высоком водонасыщении, особенностями взаимодействия металлургических шлаков с битумом и различными теплофизическими показателями. В связи с этим, следует ожидать и отличия в изменении основных ТЭП в период зимней эксплуатации автомобильных дорог при различных типах покрытия.

В статье рассмотрен вопрос о возможных особенностях эксплуатации покрытий на основе холодных шлаковых асфальтобетонных смесях.

В соответствии с ГОСТ Р 70648—2023 [1] холодные асфальтобетонные смеси регламентируются по типам АХ22, АХ16, АХ11, АХ8, АХ5 и АХР. По назначению различают: универсальных холодных асфальтобетонных смесей – АХ, которые применяются в верхних слоях покрытий, и многощелебнистые АХР, которые используются в качестве ремонтного материала в покрытиях из асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Основными отличительными особенностями холодных асфальтобетонных смесей являются тип вяжущего, зерновой состав и возможность их применения только для дорог IV и V категорий. Фотографии применяемых материалов для изготовления холодных асфальтобетонных смесей приведены на рисунке 1.



а) гранулированный доменный шлак



б) шлаковый песок фр. 0-5 мм

Рис. 1. Материалы для приготовления холодных асфальтобетонных смесей

Сравнение физико-механических свойств различных типов асфальтобетонов приведено в таблице [2, 3].

Таблица

Физико-механические и теплофизические свойства шлаковых и традиционных асфальтобетонов

| Показатели                             | Холодный шлаковый асфальтобетон марок |         | Горячий шлаковый асфальтобетон |                | Горячий традиционный асфальтобетон |                |
|--|---------------------------------------|---------|--------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
|  | М I                                   | М II    | Крупно-зернистый               | Мелкозернистый | Крупно-зернистый                   | Мелкозернистый |
| Предел прочности, МПа при температуре  |                                       |         |                                |                |                                    |                |
| 50 °С не менее                         | -                                     | -       | 0,5                            | 0,8            | 0,5                                | 1,0            |
| 20 °С не менее                         | 1,5-1,7                               | 1,0-1,2 | -                              | 2,0            | -                                  | 2,2            |
| 0 °С не менее                          | -                                     | -       | -                              | 10,0           | -                                  | 12,0           |
| Остаточная пористость, % по объёму     | 14-22                                 | 14-22   | 18-26                          | 8-15           | 5-10                               | 2,5-5          |
| Водонасыщение, % по объёму             | 9-13                                  | 9-13    | 14-18                          | 6-8            | 5-10                               | 2-5            |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К) | 0,4                                   | 0,4     | 0,4                            | 0,39           | 1,25                               | 1,40           |
| Удельная теплоемкость, Дж/кг*К         | 1,70                                  | 1,70    | 1,71                           | 1,68           | 1,65                               | 1,65           |

Особое влияние на условия зимней эксплуатации оказывает шероховатость покрытия. Она воздействует на образование снежного наката, быстроту ликвидации гололедных отложений, трудность удаления снега и льда с дорожной поверхности.

На гладких заснеженных поверхностях при уплотнении рыхлого снега коэффициент сцепления падает значительно. Скользкость увеличивается по мере роста интенсивности движения [4].

На шероховатых покрытиях свежевыпавший снег откладывается между выступами каменных частиц и так же уплотняется, но степень уплотнения меньше, так как основную нагрузку от автомобильных шин воспринимают каменные частицы. Пористая структура облегчает удаление снежно-ледяных отложений, так как их разрушение происходит по границе плотный снег – пористый снег, где сопротивление разрушению меньше, чем на поверхности снежный накат – покрытие.

Михайловым А.В. установлено, что шероховатость покрытия оказывает особое влияние на такое явление, как режеляция - свойство льда плавиться под приложенной нагрузкой без нарушения своей целостности [5]. Если шероховатости придать форму клина и нужный размер, то вероятность образования слоя льда или снежного наката при наличии нагрузки снизится до минимума.

Все вышеперечисленные свойства шероховатой поверхности будут в полной мере проявлять себя на холодных шлаковых асфальтобетонных покрытиях. Это подтверждается научными исследованиями [2, 6], проведенными на опытно – экспериментальном участке автомобильной дороге II технической категории на обходе с. Борино в Липецкой области. В результате исследований было обнаружено снижение количества случаев образования зимней скользкости, по сравнению с традиционными асфальтобетонными покрытиями.



*а) традиционное асфальтобетонное покрытие*

*б) шлаковое асфальтобетонное покрытие*

**Рис. 2.** Состояние поверхности автомобильных дорог в зимний период с различными типами покрытий

Гололедные образования на поверхности покрытия неизбежны при высокой его влажности, если морозная погода резко сменяется потеплением воздуха. Это происходит из-за конденсации влаги или при выпадении жидких осадков на покрытие, которое имеет отрицательную температуру. Значения теплофизических параметров традиционных и шлаковых асфальтобетонов различны, что сказывается и на температурном режиме этих покрытий при одинаковом воздействии погодных факторов [2].

На влажность покрытия существенно влияет структура поверхности и поверхностного слоя, поскольку с ней взаимосвязаны такие процессы, как сорбция и капиллярная конденсация. На гладкой, плотной поверхности конденсация влаги проявляется полнее, чем на пористой. Влагоемкость материала обеспечивает частичный отбор конденсата. Обладая большей остаточной пористостью за счет пористости самого минерального материала, холодные шлаковые асфальтобетонные покрытия быстрее впитывают и фильтруют влагу, выпавшую в виде осадков или в виде конденсата. Этот процесс фильтрации может полностью предотвратить или отдалить процесс образования зимней скользкости в виде льда.

## Выводы

Покрытия из холодных шлаковых асфальтобетонов обладают в зимний период повышенными транспортно-эксплуатационными качествами по сравнению с традиционными асфальтобетонами. В процессе эксплуатации холодных шлаковых асфальтобетонных покрытий при определённых одинаковых условиях уменьшается вероятность образования зимней скользкости по сравнению с традиционными. Эта особенность обеспечивает постоянный скоростной режим движения автомобилей в зимний период и повышает безопасность дороги.

## Библиографический список

1. ГОСТ Р 70648-2023 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси холодные асфальтобетонные и асфальтобетон. Общие технические условия. – Введ. 2023 – 01 – 03 – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, Российский институт стандартизации, 2023. – 26 с.
2. Андреев А.В. Определение транспортно-эксплуатационных параметров автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями на основе шлаковых материалов: Дисс....канд.техн.наук: 05.23.11/А.В. Андреев – Воронеж, 2005. - 206 с.
3. Еремин А.В., Андреев А.В., Поляков Р.С., Николенко Ю.Ю. Влияние вязкости битума и его содержания на физико-механические свойства холодных шлаковых асфальтобетонных смесей. Строительная механика и конструкции. 2023. № 3 (38). С. 57-65
4. Жуков В.И. Влияние интенсивности движения на изменение состояния поверхности дорожных покрытий в зимнее время // Изв. Вузов. Сер. Строительство и архитектура. – М.: 1974. №12
5. Михайлов А.В. О создании гололёдобезопасных дорожных одежд // Автомобильные дороги. - 1981.-№11.- С. 11-13.
6. Андреев А.В. Экспериментальные исследования транспортно-эксплуатационных параметров автомобильных дорог с покрытиями из шлаковых асфальтобетонов. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2008. № 3 (11). С. 138-143.

## References

1. GOST R 70648-2023 Roads for public use. Mixes of cold asphalt concrete and asphalt concrete. General specifications. - Input. 2023 - 01 - 03 - M. : Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, Russian Institute for Standardization, 2023. - 26 p.
2. Andreev A.V. Determination of transport and operational parameters of auto-mobile roads with asphalt concrete coatings based on slag materials: Diss....candidate of Technical Sciences: 05.23.11/A.V. Andreev – Voronezh, 2005. - 206 p.
3. Eremin A.V., Andreev A.V., Polyakov R.S., Nikolenko Yu.Y. Influence of bitumen viscosity and its content on the physico-mechanical properties of cold slag asphalt-concrete mixtures. Construction mechanics and structures. 2023. No. 3 (38). pp. 57-65
4. Zhukov V.I. The influence of traffic intensity on the change in the condition of the surface of road surfaces in winter // Izv. Vuzov. Ser. Construction and architecture. - Moscow: 1974. No.12
5. Mikhailov A.V. On the creation of ice-safe road clothes // Automobile roads. - 1981.-No. 11.- pp. 11-13.
6. Andreev A.V. Experimental studies of transport and operational parameters of highways with coatings of slag asphalt concrete. Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture. 2008. No. 3 (11). pp. 138-143.

УДК 622.692

*Воронежский государственный  
технический университет  
Студентка кафедры теплогазоснабжения и  
нефтегазового дела А.С. Бугаева  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(900) 928-49-98  
e-mail: anne.bugaeva@yandex.ru  
Старший преподаватель кафедры теплога-  
зоснабжения и нефтегазового дела  
Е.В. Плаксина  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 207-22-20  
e-mail: eplaksina@cchgeu.ru*

*Voronezh State  
Technical University  
Student of the Dep. of Heat and Gas Supply  
and Oil and Gas Business A.S. Bugaeva  
Russia, Voronezh, tel. +7 (900) 900-928-49-98  
e-mail: anne.bugaeva@yandex.ru  
Senior lecturer of the Department of Heat and  
Gas Supply and Oil and Gas Business  
E.V. Plaksina  
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 207-22-20  
e-mail: eplaksina@cchgeu.ru*

А.С. Бугаева, Е.В. Плаксина

### **ПОТЕРИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ НЕФТЕХРАНИЛИЩ**

Потери нефтепродуктов на нефтебазах и меры по борьбе с ними являются серьезной задачей для нефтяной промышленности, приводя к экономическим потерям и экологическим проблемам. Рассмотрены способы снижения потерь нефтепродуктов. На конкретном примере вертикального стального резервуара проведены расчеты потерь бензина от «больших дыханий» для диапазона температур от 213,15 до 313,15К. Получено уравнение в виде многочлена третьей степени, учитывающее принципиальную зависимость потерь от температуры нефтепродукта при закачке в резервуар и позволяющее ее рассчитать. На основе эксплуатационных данных по 16 резервуарам получен осредненный коэффициент оборачиваемости резервуара, определена стоимость потерь нефтепродукта от «больших дыханий» за год.

**Ключевые слова:** нефтебаза, нефтехранилища, потери нефтепродуктов, «большие дыхания».

A.S. Bugaeva, E.V. Plaksina

### **LOSSES OF PETROLEUM PRODUCTS FROM OIL STORAGEES**

Losses of petroleum products at oil depots and measures to combat them are an important problem for the oil transportation system, leading to economic costs and environmental problems. The article considers ways to reduce losses of petroleum products. Using a specific example with a vertical steel tank, calculations of gasoline losses from "big breaths" for the temperature range from 213.15 to 313.15 K were made. An equation in the form of a third-degree polynomial was obtained, taking into account the fundamental dependence of losses on the temperature of the petroleum product when pumping into the tank and allowing it to be calculated. Based on operational data for 16 tanks, an average tank turnover coefficient was obtained, the cost of petroleum product losses from "big breaths" per year was determined.

**Keywords:** oil depot, oil storages, losses of oil products, «big breaths».

Одной из важнейших задач эксплуатации нефтебаз является сокращение потерь нефтепродуктов [2, 4, 9]. Решение такой задачи способствует не только положительному экономическому эффекту, но и экологическому [13, 14]. Потери нефтепродуктов принято разделять на категории естественных, эксплуатационных и аварийных. Они появляются при транспортировке, хранении, приеме и отпуске. Физические и химические свойства жидких нефтепродуктов, метеорологические условия, несовершенство технологических процессов защиты, обуславливают естественные потери наибольший вклад в которые вносят «большие» и «малые дыхания» [5, 6, 8]. Испаряемость является главной причиной потерь нефтепродуктов, составляющих на АЗС общего пользования в стоимостном эквиваленте порядка 7,3 млрд.руб в год [3, 7].

Большие «дыхания» происходят по причине изменения температуры окружающей среды т.к. изменяется плотность нефтепродукта, влияющая на его объем. Различают следующие способы снижения потерь нефтепродукта:

- применение резервуаров с плавающей крышей или понтоном приводит к уменьшению объема воздуха в резервуаре, что минимизирует колебания давления и сокращает потери нефти на 70...75%;

- поддержание стабильной температуры нефти в резервуаре уменьшает изменение ее объема;

- использование системы улавливания легких фракций обеспечивает отбор и утилизацию при повышении давления в газовом пространстве резервуаров до того, как произойдет их «выдох» в атмосферу [10, 11];

- применение дисков-отражателей, изменяющих направление струи воздуха, входящего в резервуар, с вертикального на горизонтальное. Это уменьшает перемешивание паровоздушной среды и концентрацию паров в паровоздушной смеси.

Малые «дыхания» при колебании температуры окружающей среды в течение суток, они имеют меньшие объемы, но также как и «большие» влияют на эффективность и безопасность нефтехранилищ.

Для уменьшения малых «дыханий» в нефтехранилищах применяют следующие меры:

- уменьшение колебания температуры газового пространства;

- использование дисков-отражателей;

- применение резервуаров с плавающей крышей.

Уменьшение потерь нефти и нефтепродуктов возможно также путем создания подземных хранилищ, создаваемые в соленосных отложениях, водоупорных глинах или отработанных шахтах[1]. Этот вид нефтехранилищ безопаснее наземных, т.к. практически исключаются разливы. Объем закачки в такие хранилища стремится к бесконечности. Актуальности вопросу создания в России подземных нефтехранилищ добавили ограничения, связанные с коронавирусом, повлиявшим на снижение спроса на нефть. Период строительства таких хранилищ может достигать 10-12 лет, но также есть возможности для уменьшения срока их создания. Согласно экспертным оценкам капитальные вложения в такую систему хранилищ составляют в среднем около 2600 руб/м<sup>3</sup>, т.е. необходимо затратить порядка 156 млрд. руб.

Очевидно, что потери при «больших дыханиях» зависят от температуры продукта. В работе рассчитаны потери бензина  $G_{\text{до}}$ , кг за один цикл закачки топлива в стальной резервуар диаметром  $D$ , вместимостью 5000м<sup>3</sup> при варьировании температуры  $T$  в интервале от 213,15К до 313,15К с шагом в 20К. В исходных данных также учитывалась молярная масса паров  $M$ , кг/кмоль, абсолютные давления в газовом пространстве резервуара в начале  $P_1$  и конце закачки  $P_2$ , Па, разница начального и конечного уровней топлива  $\Delta H$ , высота газового пространства перед закачкой  $H_{Г1}$ , м. Потери определялись по формуле

$$G_{\text{до}} = \left( \Delta H - H_{Г1} \frac{P_2 - P_1}{P_2 - P_v} \right) \frac{\pi P_1 P_v M D^2}{33257,2 P_2} \quad (1)$$

где  $P_v$  – усредненное парциальное давление паров бензина, Па.

Для определения среднего парциального давления паров бензина  $P_y$  необходимо найти концентрации  $\Delta C_1/C_S$ ,  $\Delta C_2/C_S$ , и среднюю  $\Delta C/C_S$  а также давление насыщенных паров  $P_S$ . Для нахождения указанных величин используются специальные графики, но были получены аппроксимационные уравнения следующего вида:

$$\Delta C_1 / C_S = 1,455 \cdot 10^{-2} V_B + 7,273 \cdot 10^{-3}. \quad (2)$$

$$\Delta C_2 / C_S = 0,04757 + 10^{-5} \tau (600,4 - 36,14\tau + 1,922\tau^2). \quad (3)$$

$$P_S = 57,676 - 1,756\Delta T - 10^{-4} \Delta T^2 (207 + 0,9\Delta T). \quad (4)$$

где  $V_B$  – скорость удаления через дыхательные клапаны паровоздушной смеси, м/с;

$\tau$  – сумма времени простоя  $\tau_{np}$  и закачки  $\tau_3$ ;

$\Delta T$  – разница температур начала кипения бензина и фактической.

Полученные результаты расчета потерь бензина от представлены в таблице 1, графическая интерпретация данных таблицы в виде зависимости потерь от температуры нефтепродукта приведены на рисунке. Как следует из результатов расчета, на потери от «больших дыханий» значительное влияние оказывает температуры нефтепродукта. В рассмотренном примере при увеличении температуры в 1,5 раза, потери бензина увеличиваются в 31,23 раза.

Таблица 1

Результаты расчета потерь бензина

| $T, K$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $P_S, \text{кПа}$ | $P_y, \text{кПа}$ | $G_{\text{од}}, \text{кг}$ |
|--------|-----------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| 213,15 | 3,3                   | 1,66              | 0,65              | 75,597                     |
| 233,15 | 3,02                  | 5,29              | 2,06              | 219,175                    |
| 253,15 | 2,78                  | 10,3              | 4,02              | 393,511                    |
| 273,15 | 2,58                  | 21,1              | 8,23              | 746,753                    |
| 293,15 | 2,4                   | 41,9              | 16,3              | 1372,117                   |
| 313,15 | 2,25                  | 77,1              | 30,1              | 2361,065                   |

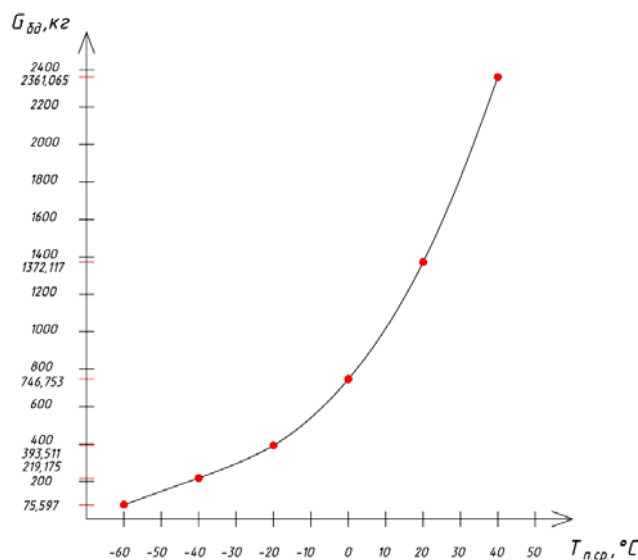


Рис. Зависимость потерь бензина от температуры

Было получено приближенное уравнение, позволяющее рассчитать потери бензина от одного «большого дыхания» в зависимости от температуры нефтепродукта для условий расчета в дневное время суток со средним значением относительной погрешности по абсолютной величине 1,42% вида:

$$G_{\text{до}} = 0,002249743T^3 - 1,50682T^2 + 342,8955T - 26337,67. \quad (5)$$

Уравнение может быть использовано на практике для определения ориентировочных значений потерь автомобильного бензина.

Важным вопросом является определение потерь нефтепродукта за некоторый отрезок времени, который в эксплуатации является отчетным. На практике принято использовать так называемый коэффициент оборачиваемости резервуара  $K_{\text{об}}$ , учитывающий эксплуатационную схему в которой наблюдается равенство объема откаченного/залитого топлива (прошедшего через резервуар за отчетный период  $V_p$ ) и полезной наполняемости резервуара (геометрический объем  $V_2$ ). Необходимо также учитывать коэффициент заполняемости резервуара  $K_p$ . Как показывают данные эксплуатации [16], при операциях слива/налива уровень в резервуарах нефтебаз изменяется незначительно, на несколько метров. Это связано с тем, что объемы резервуаров значительно больше закачиваемых или сливаемых. В практике эксплуатации замечено, что среднее значение закачки/откачки нефтепродукта может иметь значительно меньшие значения, чем пропускная способность группы установленных дыхательных клапанов. В таблице 2 представлены расчетные данные по шестнадцати резервуарам эксплуатирующей организации [16], которые подтверждают положение о неравенстве пропускной способности клапанов и фактических объемов закачки/откачки.

Таблица 2

Данные эксплуатации резервуаров [16]

|                                   |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |      |      |       |      |       |       |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|
| $K_p$                             | 0,74 | 0,74 | 0,67 | 0,69 | 0,69 | 0,74 | 0,62  | 0,62  | 0,7   | 0,7   | 0,74 | 0,71 | 0,73  | 0,76 | 0,63  | 0,63  |
| $V_2, \text{ м}^3$                | 4866 | 4866 | 4866 | 4866 | 4866 | 4866 | 19450 | 19450 | 19450 | 19450 | 4866 | 4866 | 10950 | 4866 | 19450 | 19450 |
| $H_{\text{макс}}, \text{ м}$      | 5,23 | 8,04 | 8,64 | 4,78 | 5,82 | 8,04 | 5,08  | 6,27  | 10,7  | 11,56 | 7,31 | 7,76 | 7,21  | 9,78 | 6,69  | 6,38  |
| $H_{\text{мин}}, \text{ м}$       | 4,09 | 7,84 | 6,6  | 3,58 | 4,38 | 7,84 | 4,19  | 2,55  | 6,24  | 7,68  | 5,39 | 4,58 | 6,43  | 7,63 | 4,29  | 4,16  |
| $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$         | 78,7 | 38,3 | 79,9 | 83,7 | 98,8 | 38,3 | 220,4 | 393,2 | 288,2 | 399,1 | 64,4 | 115  | 22,4  | 70,1 | 329,1 | 289,9 |
| $K_{\text{об}}, \text{ год}^{-1}$ | 29,3 | 21,1 | 102  | 79,3 | 98,1 | 21,1 | 20,46 | 91,94 | 79,86 | 24,48 | 54,1 | 68,4 | 10,46 | 51,1 | 106,4 | 88,66 |

Из таблицы следует, что осредненное значение коэффициентов оборачиваемости резервуаров по всем резервуарам составляет  $59,17 \text{ год}^{-1}$ . Воспользовавшись средним значением коэффициента оборачиваемости, с учетом плотности бензина  $740 \text{ кг/м}^3$  и его средней стоимости  $54 \text{ руб/л}$ , получим значения потерь от больших дыханий в денежном выражении от  $0,178$  млн. руб. при температуре  $213,15\text{К}$  и  $5,417$  млн. руб. при  $313,15\text{К}$ .

#### Выводы

1. Рассмотрены основные виды потерь нефтепродуктов при эксплуатации нефтебаз. Рассмотрены основные мероприятия по снижению потерь нефтепродуктов.

2. С учетом полученных аппроксимационных уравнений (2)-(4) для относительных концентраций паров бензина  $\Delta C_1/C_S$ ,  $\Delta C_2/C_S$ , и давления насыщенных паров  $P_S$ , определены потери при закачке в резервуар объемом  $5000 \text{ м}^3$  в диапазоне температур от  $213,15\text{К}$  до  $313,15\text{К}$  от одного «большого дыхания».

3. Методом наименьших квадратов получено уравнение, позволяющее приближенно рассчитать потери бензина в зависимости от температуры нефтепродукта от одного «большого дыхания» для условий расчета в дневное время суток, применимое на практике.

4. С учетом среднего значения коэффициента оборачиваемости резервуара, получено стоимостное выражение потерь от больших дыханий, на которое значительно влияет температура нефтепродукта.

## Библиографический список

1. Велин, А. С. Особенности миграции углеводородов в грунтах зоны аэрации и подземных водах в местах расположения крупных нефтехранилищ / А.С. Велин // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2018. – № 1. – С. 142-147. <https://doi.org/10.17308/geology.2018.1/1464>.
2. Гулиев, А.Г. Исследование потери углеводородов в системах хранения нефти и нефтепродуктов [Текст]/А.Г. Гулиев// Мировая наука. – 2021. – №3(48). – С. 37–42.
3. Каревский, И.Н. Определение времени безопасной остановки мазутопроводов [Текст]/ И.Н. Каревский, Д.Н. Китаев, К.А. Пугачев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – №4(9). – С. 46–51.
4. Китаев, Д.Н. Слив светлых нефтепродуктов на автозаправочных станциях [Текст]/ Д.Н. Китаев, Г.Н. Мартыненко// Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2017. – №1. – С. 89–92.
5. Китаев, Д.Н. Расчет технологических процессов и оборудования автозаправочных станций. Учебно-методическое пособие [Текст] /Д.Н. Китаев, С.Г. Тульская; ФГБОУ ВО «Воронежский гос. тех. университет. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 60с.
6. Китаев, Д.Н. Коэффициент сжимаемости природного газа расчетного состава [Текст]/ Д.Н. Китаев, Д.О. Недобежкин, В.М. Богданов, Т. Бейманов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – №1(14). – С. 29–33.
7. Коршак, А.А. Ресурс- и энергосбережение при транспортировке и хранении углеводородов [Текст] / А.А. Коршак. – Ростов Н/Д: Феникс. – 2016. – 412 с. ISBN: 978-5-222-26764-6.
8. Куцыгина, О.А. Управление затратами на предприятиях. Учебное пособие [Текст] / О.А. Куцыгина. Воронеж: изд-во ВГАСУ. – 2001. – 84с. ISBN: 5-89040-072-х.
9. Михайлова, Е.О. Прогнозирование гидравлических характеристик газопроводных сетей на газораспределительных пунктах [Текст]/ Е.О. Михайлова, Д.Н. Китаев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – №3(8). – С. 23–29.
10. Некрасова, А.В. Современные хранилища нефти и продуктов ее переработки [Текст] / А.В. Некрасова, В.И. Клевко // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2024. – Т. 1. – С. 138–142.
11. Практическое применение энергосберегающих технологий: учебное пособие [Текст] / Д. Н. Китаев, П. Новаковски, Э. В. Сазонов и др.; под общ. Ред. В.Н. Семенова и Н.С. Попова. –Тамбов: Изд-во Першина Р.В. – 2014. – 193 с.
12. Русанов, Н.А. Расчет времени самотечного слива светлых нефтепродуктов на автозаправочных станциях [Текст]/ Н.А. Русанов, Д.Н. Китаев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – №2(7). – С. 66-72.
13. Самойленко, Е.О. Проблемы и тренды развития нефтегазовой отрасли в условиях снижения бюджетных доходов и роста себестоимости добычи нефти [Текст]/ Е.О. Самойленко, О.А. Куцыгина // В сборнике: Научная опора Воронежской области. Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж. – 2024. – С. 221–224.
14. Шименкова, А.А. Система геоэкологического мониторинга нефтехранилищ автозаправочных станций [Текст] / А.А. Шименкова, А.Д. Потапов // Вестник МГСУ. – 2014. – №3. – С. 212–219.
15. Kutsyгина, O. Cost management for fuel and energy resources in the creation and operation of urban infrastructure / O. Kutsyгина, M. Agafonova, A. Chugunov, I. Serebryakova I.// Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – Т. 1258. – С. 553–565.
16. Коршак, Ан.А. Метод прогнозирования потерь нефти и нефтепродуктов от «больших дыханий» за длительный период/ Ан.А. Коршак, А.А. Коршак // Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ. – 2018. – №5(115). – С. 79-87. DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-5-79-87.

## References

1. Velin, A. S. Features of hydrocarbon migration in the soils of the aeration zone and groundwater in the locations of large oil storage facilities / A.S. Velin // VSU Bulletin. Series: Geology. - 2018. - No. 1. - P. 142-147. <https://doi.org/10.17308/geology.2018.1/1464>.
2. Guliev, A.G. Study of hydrocarbon losses in oil and oil product storage systems [Text] / A.G. Guliev // World Science. - 2021. - No. 3 (48). - P. 37-42.
3. Karevsky, I.N. Determination of the time of safe shutdown of fuel oil pipelines [Text] / I.N. Karevsky, D.N. Kitaev, K.A. Pugachev // Urban development. Infrastructure. Communications. - 2017. - No. 4 (9). - P. 46-51.
4. Kitaev, D. N. Draining of light petroleum products at gas stations [Text] / D. N. Kitaev, G. N. Martynenko // Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: High technologies. Ecology. - 2017. - No. 1. - P. 89-92.
5. Kitaev, D. N. Calculation of technological processes and equipment of gas stations. Textbook [Text] / D. N. Kitaev, S. G. Tulskeya; FGBOU VO "Voronezh State Technical University. - Voronezh: Publishing house of VSTU, 2021. - 60 p.
6. Kitaev, D. N. Compressibility coefficient of natural gas of the calculated composition [Text] / D. N. Kitaev, D. O. Nedobezhkin, V. M. Bogdanov, T. Beimanov // Urban development. Infrastructure. Communications. - 2019. - No. 1 (14). - P. 29-33.
7. Korshak, A. A. Resource and energy saving in the transportation and storage of hydrocarbons [Text] / A. A. Korshak. - Rostov N / D: Phoenix. - 2016. - 412 p. ISBN: 978-5-222-26764-6.
8. Kutsygina, O. A. Cost management at enterprises. Study guide [Text] / O. A. Kutsygina. Voronezh: VSUACE Publishing House. - 2001. - 84 p. ISBN: 5-89040-072-x.
9. Mikhailova, E. O. Forecasting the hydraulic characteristics of gas pipeline networks at gas distribution points [Text] / E. O. Mikhailova, D. N. Kitaev // Urban development. Infrastructure. Communications. - 2017. - No. 3 (8). - P. 23-29.
10. Nekrasova, A. V. Modern storage facilities for oil and its refined products [Text] / A. V. Nekrasova, V. I. Kleveko // Modern technologies in construction. Theory and practice. - 2024. - Vol. 1. - P. 138-142.
11. Practical application of energy-saving technologies: a tutorial [Text] / D. N. Kitaev, P. Nowakovsky, E. V. Sazonov et al.; under the general. Ed. V. N. Semenova and N. S. Popova. - Tambov: Publishing house of R. V. Pershina. - 2014. - 193 p.
12. Rusanov, N. A. Calculation of the time of gravity discharge of light petroleum products at gas stations [Text] / N. A. Rusanov, D. N. Kitaev // Urban development. Infrastructure. Communications. - 2017. - No. 2 (7). - P. 66-72.
13. Samoylenko, E. O. Problems and trends in the development of the oil and gas industry in the context of declining budget revenues and increasing costs of oil production [Text] / E. O. Samoylenko, O. A. Kutsygina // In the collection: Scientific support of the Voronezh region. Collection of works of the winners of the competition of research works of students and graduate students of VSTU in priority areas of science and technology development. Voronezh. – 2024. – pp. 221–224.
14. Shimenkova, A.A. System of geocological monitoring of oil storage facilities at gas stations [Text] / A.A. Shimenkova, A.D. Potapov // Bulletin of MGSU. – 2014. – No. 3. – pp. 212–219.
15. Kutsygina, O. Cost management for fuel and energy resources in the creation and operation of urban infrastructure / O. Kutsygina, M. Agafonova, A. Chugunov, I. Serebryakova I. // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – T. 1258. – C. 553–565.
16. Korshak, An.A. Method for predicting oil and oil product losses from “big breaths” over a long period / An.A. Korshak, A.A. Korshak // Construction and operation of oil and gas pipelines, bases and storage facilities. - 2018. - No. 5 (115). - P. 79-87. DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-5-79-87.

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доцент  
А.В. Еремин;  
Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-346-95-87  
e-mail: bora.av@mail.ru  
Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доцент  
В.П. Волокитин;  
Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-343-59-  
37e-mail: nova.vp@mail.ru  
Воронежский государственный  
технический университет  
Студент 6 курса Дорожно-транспортного  
факультета Ф.М. Абрамов  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(950) 754-81-44  
e-mail: fabramov2001@mail.ru  
Воронежский государственный  
технический университет  
Студент 6 курса Дорожно-транспортного  
факультета Е.В. Корнилов  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(919) 247-75-25  
e-mail: jenya8885@gmail.com*

*Voronezh State  
Technical University  
Cand. Of Tech. Science, Associate prof.  
A.V. Eremin;  
Russia, Voronezh, tel. +7-910-346-95-87  
e-mail: bora.av@mail.ru  
Voronezh State  
Technical University  
Cand. Of Tech. Science, Associate prof.  
V.P. Volokitin;  
Russia, Voronezh, tel. +7-910-343-59-37  
e-mail: nova.vp@mail.ru  
Voronezh State  
Technical University  
Sixth year student of the Faculty of Roads and  
Transport F.M. Abramov  
Russia, Voronezh, tel. +7(950) 754-81-44  
e-mail: fabramov2001@mail.ru  
Voronezh State  
Technical University  
Sixth year student of the Faculty of Roads and  
Transport E.V. Kornilov  
Russia, Voronezh, tel. +7(919) 247-75-25  
e-mail: jenya8885@gmail.com*

А.В. Еремин, В.П. Волокитин, Ф.М. Абрамов, Е.В. Корнилов

### **ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХПРОЧНОГО ФИБРОБЕТОНА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

В статье приведена информация о фибробетоне, его составе, назначении и применение в строительстве дорог и мостовых сооружениях.

**Ключевые слова:** бетон, фибробетон, строительство мостов, усиление мостовых конструкций.

A.V. Eremin, V.P. Volokitin, F.M. Abramov, E.V. Kornilov

### **THE USE OF HEAVY-DUTY FIBER CONCRETE IN ROAD CONSTRUCTION**

The article provides information about fiber concrete, its composition, purpose and application in the construction of roads and bridge structures.

**Keywords:** concrete, fiber-reinforced concrete, bridge construction, reinforcement of bridge structures.

Применение бетонных смесей является неотъемлемой частью индустриального строительства мостовых сооружений. Текстура смеси обладает пластичностью и отлично заполняет предоставленное ей пространство, принимая заданную форму. Новым этапом эволюции в применение бетонных смесей является создание сверхпрочного фибробетона (СПБФ).

Инженерный сверхпрочный фибробетон – революционное решение для строительства и реконструкции мостовых сооружений. Благодаря тщательно подобранной высококачественной бетон-матрице удалось создать сверхвысокопрочный композитный материал. СПБФ характеризуются очень низким водно-цементным соотношением, высоким содержанием цемента и наличием в составе тонких армирующих элементов. Количество стальной фибры может варьироваться в широких пределах в зависимости от целевого уровня прочностных характеристик материала. Обычно это значение находится в пределах 2-3,5% от объема, однако в некоторых случаях может достигать до 6% (рис. 1).



Рис. 1. Структура СПБФ

Благодаря применению стальных или полимерных волокон повышается прочность к растягивающим нагрузкам. В настоящий момент существует два вида СПБФ: самоуплотняющийся (применяется для ЖБ элементов и конструкций) и тиксотропный (применяется в плите проезжей части мостовых сооружений) (рис.2).



Рис. 2. Визуальное сравнение видов СПБФ

В настоящий момент существует множество вариантов применения СПБФ. Рассмотрим некоторые из них.

1) При изготовлении балок, СПБФ позволяет сделать их более сложной формы, а также изготавливать более тонкие элементы в поперечном сечении. К явным преимуществам можно отметить: уменьшение количества арматуры в поперечном сечении балок за счёт прочностных свойств СПБФ; уменьшение веса конструктивных элементов благодаря уменьшению толщины элементов сечения; возможность проектировать более длинные пролётные строения без использования дополнительных опор.

2) Так же при помощи СПБФ можно объединять элементы конструкций мостовых сооружений. Благодаря прочностные характеристики сверхпрочного фибробетона обеспечивают передачу расчётных усилий арматуры на бетон при минимальной длине анкеровки. Благодаря этому уменьшается размер стыковочных соединений между сборными элементами (рис. 3).



**Рис. 3.** Применение СПБФ при омоноличивании пролётных строений

3) СПБФ может быть использован при проведении ремонта или реконструкции мостовых сооружений. При использовании обычного бетона при ремонтных работах плиты проезжей части, не удастся полностью остановить воздействие воды и противогололёдных материалов. СПБФ в свою очередь долговечен и позволяет увеличить прочность и защитные свойства. Это происходит из-за высокого содержания фибрового армирования. Стальные волокна обеспечивают высокий предел прочности при растяжении, а плотная бетон-матрица на мелких заполнителях препятствует проникновению влаги и реагентов.

4) При ремонте или содержании железобетонных или гофрированных металлических водопропускных труб СПБФ позволяет предотвратить воздействия коррозии в минимальные сроки путём распыления состава на внутренние поверхности. Состав наносится тонким слоем до 10 см, что не изменяет внутреннего диаметра трубы. Для подготовки трубы необходима минимальная пескоструйная обработка. Установка опалубки не требуется. Благодаря применению СПБФ, уменьшается срок работы и набор прочности состава (рис.4).



**Рис. 4.** Применение СПБФ при ремонте водопропускных труб

К недостаткам СПБФ на текущий момент можно отнести высокую цену. Например, стоимость 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси марки В40, обладающей прочностью при сжатии 51.37 МПа, составляет 8150р., в то время как стоимость СПБФ составляет порядка 20000р. Но стоит отметить, что минимальная прочность при сжатии СПБФ это 150 МПа, что примерно в 3 раза больше, чем у бетонной смеси марки В40. Так же к недостаткам можно отнести отсутствие большого количества поставщиков, что ограничивает производство монолитных работ в отдалённых местах.

Из полученного материала можно сделать вывод, что сверхпрочный фибробетон обладает очень хорошими физико-техническими характеристиками, что в дальнейшем позволяет проектировать и эксплуатировать мостовые сооружения с более высоким классом нагрузки.

## Библиографический список

1. [Электронный ресурс] - <https://cementum.ru>.
2. [Электронный ресурс] - <https://www.ductal.com>.
3. [Электронный ресурс] - <https://www.ductal.com/en/shotcrete>.
4. [Нормативный документ]- ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».
5. [Нормативный документ]- ГОСТ 18105-2018 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности».

## References

1. [Electronic resource] - <https://cementum.ru>.
2. [Electronic resource] - <https://www.ductal.com>.
3. [Electronic resource] - <https://www.ductal.com/en/shotcrete>.
4. [Normative document] - GOST 10180-2012 "Concrete. Methods for determining strength from control samples".
5. [Normative document] - GOST 18105-2018 "Concrete. Rules for strength control and assessment".

УДК 691.878

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики*

*С.А. Никитин,*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики*

*Д.Н. Дегтев,*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики*

*А.Н. Щиенко,*

*Студенты дорожно-транспортного*

*факультета гр. НТС-231 А.И. Гетман,*

*К.А. Токарев*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29  
e-mail: niks176@mail.ru*

*Voronezh State*

*Technical University*

*Kand. Tehn. Sciencs, assistant professor of the  
chair of building technique and mechanics*

*engineering S.A. Nikitin*

*Kand. Tehn. Sciencs, assistant professor of the  
chair of building technique and mechanics*

*engineering D.N. Degtev,*

*Kand. Tehn. Sciencs, assistant professor of the  
chair of building technique and mechanics*

*engineering A.N. Shchienko,*

*Students of the Faculty of Roads*

*and Transport, gr. NTS-231 A.I. Getman,*

*K.A. Tokarev*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29  
e-mail: niks176@mail.ru*

С.А. Никитин, Д.Н. Дегтев, А.Н. Щиенко, А.И. Гетман, К.А. Токарев

## **ВЛИЯНИЕ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА УРОВЕНЬ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В КАБИНЕ ДОРОЖНОЙ ШНЕКОРОТОРНОЙ СНЕГООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ**

Представлены результаты полевых виброакустических испытаний дорожной снегоуборочной шнекороторной машины по определению влияния рабочей среды на уровни звукового давления в кабине дорожной шнекороторной снегоочистительной машины.

**Ключевые слова:** шум, шнекороторный снегоочиститель, рабочая среда.

S.A. Nikitin, D.N. Degtev, A.N. Shchienko, A.I. Getman, K.A. Tokarev

## **THE INFLUENCE OF THE WORKING ENVIRONMENT ON THE SOUND PRESSURE LEVEL IN THE CABIN ROAD AUGER-DRIVEN SNOWPLOW MACHINE**

The results of field vibroacoustic tests of a road snowplow auger machine to determine the effect of the working environment on sound pressure levels in the cabin of a road auger snowplow machine are presented.

**Keywords:** noise, auger snowplow, working environment.

Специальные машины для поддержания дорог и аэродромов в рабочем состоянии связаны как с вопросами их проектирования, так и с необходимостью качественного их обслуживания и специфическими условиями эксплуатации дорожных покрытий, связанными с особыми климатическими условиями.

Создание узкоспециального рабочего оборудования с последующей установкой его на базе уже существующих транспортных средств обуславливает большое разнообразие специальной техники. Следует также отметить, что виброакустическая энергия создаваемая навесным оборудованием как правило не учитывается, при этом ее воздействие на оператора тех-

нологической машины достаточно велико и может достигать ощутимых, а порою и пороговых значений. При всем при этом, не смотря на то, что в области шумозащиты водителей транспортных средств накоплен большой опыт, структурный звук, как составляющая общего звукового поля кабины водителя, как правило, не учитывается, а активные рабочие органы специальных машин являются дополнительным источником структурного шума, воздействию которого подвержены водители транспортных средств.

Все вышеперечисленные проблемы актуальны для дорожной снегоуборочной шнекороторной снегоочистительной машины ДЭ-210, смонтированной на базе шасси автомобиля ЗИЛ-131. Функциональной особенностью данной машины является наличие активных рабочих органов (двух шнеков и ротора), позволяющих осуществлять уборку свежеснегавшего и слежавшегося снега с последующим отбросом его на расстояние до 24 метров. Сбор снега и перемещение его к ротору обеспечивается вращающимися шнеками. За отбрасывание снега отвечает ротор.

Точную картину об уровнях структурного шума в кабине водителя дают результаты полевых испытаний шнекороторного снегоочистителя в лабораторно-полевых условиях в открытом звуковом поле. При этом использовался способ [1] разделения источников звука и аппаратура фирмы "Брюль и Кьер" (Дания), включающая шумомер типа 2203, 1/3-октавные фильтры типа 1613. Шумомер устанавливался в районе головы оператора снегоочистителя; на втором этапе использовался шумомер Октава-101А.

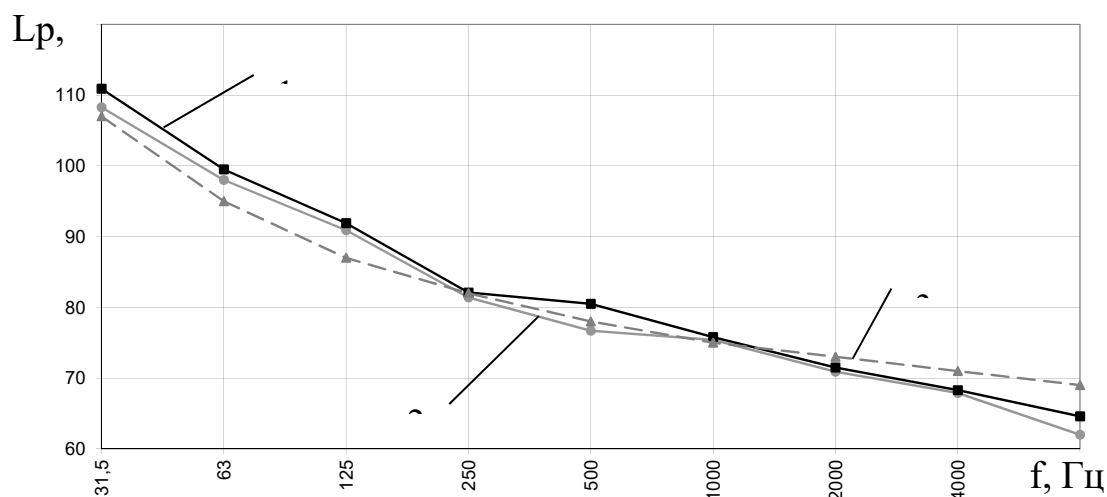


**Рис. 1.** Шнекороторный снегоочиститель в режиме уборки снега

Перед началом проведения опыта выполнялось техническое обслуживание машины в соответствии с инструкцией, и производился прогрев агрегатов шнекороторного снегоочистителя. На первом этапе производилось вывешивание снегоочистителя с целью определения вклада источников звуковой энергии в общее звуковое поле кабины. Однако, отсутствие нагрузки как самой трансмиссии, так и рабочих органов ставило вопрос о влиянии рабочей среды на уровень звука в кабине технологической машины. Вследствие этого было предложено произвести испытания снегоочистителя в условиях уборки снега в открытом звуковом поле. Данные, полученные, при таких исследованиях позволяют обеспечить верификацию и надежность данных, полученных на этапе эксперимента с вывешенной машиной, а также определить фактическое влияние рабочей среды на уровни звука в кабине снегоочистителя.

С целью получения более точных результатов измерения параметров вибрации и шума опыты проводятся в открытом звуковом поле, то есть до ближайших звукоотражающих поверхностей (здания, сооружения и т.п.) должно быть не менее 50 м.

Виброакустические испытания проводились при постоянной температуре окружающего воздуха и постоянном атмосферном давлении, которые приводились к стандартным условиям.



**Рис. 2.** Уровни звукового давления в октавных полосах частот в кабине:  
1 – режим уборки снега; 2 – вывешенная машина; 3 – допускаемые согласно ГОСТ 30691-01

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Существенного влияния рабочей среды на уровень звукового давления в кабине снегоочистителя в режиме уборки снега по сравнению с режимом разделения источников шума на вывешенной машине не установлено.

2. Незначительное повышение уровня звука на втором этапе полевых испытаний, обуславливается нагружением двигателя от работы трансмиссии и рабочих органов в процессе срезания и перемещения снежной массы.

#### Библиографический список

1. А.С. № 1659765 СССР, В 62.33/06. Способы определения частотных уровней вибрации и шума элементов кузова и кабины транспортного средства / Ю.Ф. Устинов, В.А. Муравьев (СССР). - №4722831/11; Заявл. 24.07.89; Опубл. 30.06.91, Бюл. №24.
2. Никитин С.А. Шнекороторный снегоочиститель с улучшенными виброакустическими характеристиками. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Воронеж, 2004.
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.

#### References

- 1 Author's certificate № 1659765 USSR B 62.33/06. Methods for determining noise and vibration frequency levels in elements of body and cockpit at vehicle / Y.F. Ustinov, V.A. Muravyev (USSR). - №4722831/11; Stated 24.07.89; Published 30.06.91, Bull. №24.
2. S.A. Nikitin. Loader-mount snowblower with improved vibroacoustic characteristics. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Voronezh, 2004.
3. Ustinov Yu.F., Volkov N.M., Degtev D.N., Nikitin S.A. Comparison of the results of vibroacoustic studies on a DE-210 type road auger snowplow./Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: High technologies. Ecology. 2010. No. 1. pp. 223-225.

# **МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ**

УДК 621.431.73:629.364:625.08

*Государственный научный центр  
Российской Федерации Федеральное  
государственное унитарное предприятие  
«Центральный научно-исследовательский  
автомобильный и автомоторный 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. Андрюхов*

*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 автомоторный институт  
„НАМИ“» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»)*

*В.И. Заколоткин*

*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 автомоторный институт  
„НАМИ“» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»)*

*П.И. Литвак*

*Россия, г. Москва, тел. +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"),*

*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*

*Р.Г. Данилов, Н.М. Андрюхов, В.И. Заколоткин, П.И. Литвак*

## **АВТОТРАКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Рассмотрены характерные особенности современных отечественных транспортных двигателей внутреннего сгорания, применяемых на строительных и дорожных машинах, грузовых автомобилях и тракторах. Приведены их технические параметры и внешние скоростные характеристики, а также даны предложения по возможности их эффективного использования на строительной технике. Приведенные в статье материалы позволяют обоснованно подобрать современные двигатели для строительной и дорожной техники.

**Ключевые слова:** двигатели внутреннего сгорания, строительные и дорожные машины, автомобили, тракторы, дизели, внешние скоростные характеристики, мощность, крутящий момент.

## AUTOMOTIVE TRACTOR ENGINES OF CONSTRUCTION MACHINES

The characteristic features of modern domestic internal combustion transport engines used on construction and road machines, trucks and tractors are considered. Their technical parameters and external speed characteristics are given, as well as suggestions on the possibility of their effective use on construction equipment. The materials presented in the article allow us to reasonably select modern engines for use on construction and road equipment.

**Keywords:** internal combustion engines, construction and road machines, trucks, tractors, diesels, external speed characteristics, power, torque.

Современные строительные и дорожные машины являются высокопроизводительным комплексом, состоящим из эффективных рабочих органов, удобных и эргономичных систем управления с бортовыми микропроцессорами выполняющих функции интеллектуальных систем помощи оператору, надежными агрегатами трансмиссии и ходовой части, обеспечивающих перемещение машин в заданных условиях эксплуатации. Одной из самых важных частей машины была и остается моторно-силовая установка, обеспечивающая энергией все системы машины, выполнение технологических операций и передвижение самой машины. Современные двигатели оснащаются электронными блоками управления, обеспечивающими рабочие характеристики и чистоту выхлопа, соответствующего принятым в нашей стране экологическим нормам. Отечественной промышленностью освоено серийное производство новых двигателей. Для широкого использования этих двигателей в конструкции строительных и дорожных машин в настоящей статье приведены основные технические параметры новых двигателей и их внешние скоростные характеристики (ВСХ).

Заводы строительного и дорожного машиностроения проходят стадию коренного обновления всей номенклатуры выпускаемой продукции. Компания UMG осваивает новые модели колесных и гусеничных экскаваторов, фронтальных погрузчиков, автогрейдеров и бульдозеров. Брянский тракторный завод освоил на своей территории выпуск харьковских тракторов Т-150К и на их базе производит баровые грунторезные машины. Петербургский тракторный завод перешел на выпуск новых фронтальных погрузчиков на базе колесных тракторов семейства К-7М и автогрейдеров К-714. Комбайновый завод Ростсельмаш осваивает производство однокорпусных и телескопических погрузчиков. Более совершенные модели экскаваторов, погрузчиков и другой спецтехники выпускает белорусский холдинг «Амкодор». Новые строительные машины комплектуются современными надежными и экономичными двигателями внутреннего сгорания. Совершенствование двигателей идет по пути увеличения литровой мощности за счет внедрения в их конструкцию систем наддува и охлаждения наддувочного воздуха, повышения надежности, ресурса и снижения расхода топлива [1].

Крупнейшим производителем дизельных двигателей в нашей стране является Ярославский моторный завод (ПАО «Автодизель»). Завод традиционно выпускает V-образные 6-, 8- и 12-цилиндровые дизели семейств соответственно ЯМЗ-236 (ЯМЗ-656), ЯМЗ-238 (ЯМЗ-658) и ЯМЗ-240 (ЯМЗ-840, ЯМЗ-850), которые устанавливаются на автомобили, тракторы и строительные машины. Двигатели ЯМЗ-6567 и ЯМЗ-8587 и их модификации отвечают требованиям Евро-5 и устанавливаются на грузовые автомобили МАЗ и «Урал», а также коммунальную и дорожно-уборочную технику на их базе. 6-цилиндровые двигатели ЯМЗ-65655 и ЯМЗ-65654 устанавливают на колесные тракторы БТЗ-251К и БТЗ-253К Брянского тракторного завода. Петербургский тракторный завод 6-цилиндровыми дизелями ЯМЗ-65656 мощностью 173 кВт (235 л. с.) оснащает погрузчики К-708. Двенадцатицилиндровые дизели ЯМЗ устанавливают на карьерные самосвалы БелАЗ и промышленные колесные и гусеничные бульдозеры АО «Промтрактор». Внешние скоростные характеристики дизелей приведены в таблице 1.

Таблица 1

## ВСХ V-образных дизельных двигателей ЯМЗ

| Модель двигателя | Применение      | $N_e$ , кВт | $n$ , мин <sup>-1</sup> | $M_{max}$ , Нм | $n$ , мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при $n$ , мин <sup>-1</sup> |       |       |      |      |       |
|------------------|-----------------|-------------|-------------------------|----------------|-------------------------|--|-------|-------|------|------|-------|
|                  |                 |             |                         |                |                         | 1000                                       | 1200  | 1400  | 1600 | 1800 | 2000  |
| ЯМЗ-65655        | БТЗ-145К, -251К | 132         | 2100                    | 667            | 900                     | 70   | 84    | 98    | 111  | 120  | 129   |
| ЯМЗ-65654        | БТЗ-253К        | 169         | 2100                    | 883            | 900                     | 92,5                                       | 111   | 129   | 145  | 155  | 163   |
| ЯМЗ-65674        | Урал-43206      | 169         | 2100                    | 883            | 1100                    | 92,5                                       | 111   | 129   | 145  | 155  | 163   |
| ЯМЗ-65656        | К-708БКУ        | 173         | 1700                    | 1100           | 1100                    | 110  | 138   | 161   | 172  | 169  |       |
| ЯМЗ-65671        | МАЗ Евро-5      | 198,5       | 1900                    | 1128           | 1100                    | 115  | 142   | 165   | 186  | 194  |       |
| ЯМЗ-65672        | Урал-5557       | 198         | 2100                    | 1128           | 1100                    | 114  | 142   | 165   | 186  | 194  | 198,5 |
| ЯМЗ-65675        | Урал-4320       | 220         | 2100                    | 1275           | 1100                    | 116  | 160   | 186,9 | 209  | 216  | 219,9 |
| ЯМЗ-6567         | МАЗ Евро-5      | 243         | 1900                    | 1521           | 1100                    | 153  | 193   | 225   | 245  | 245  |       |
| ЯМЗ-65854        | К-730МСт1       | 220,6       | 1900                    | 1373           | 1100                    | 141  | 172,5 | 201   | 218  | 220  |       |
| ЯМЗ-65871        | Евро-5          | 243         | 1900                    | 1275           | 1000                    | 133,5                                      | 160   | 187   | 213  | 236  |       |
| ЯМЗ-65872        | Евро-5          | 243         | 1900                    | 1521           | 1100                    | 153  | 193   | 225   | 245  | 245  |       |
| ЯМЗ-65855        | К-735МСт1       | 257         | 1900                    | 1570           | 1100                    | 161  | 197   | 230   | 248  | 254  |       |
| ЯМЗ-65857        | К-739МСт1       | 287         | 1900                    | 1864           | 1100                    | 183  | 234   | 273   | 293  | 290  |       |
| ЯМЗ-65851        | № 96-02         | 294         | 1900                    | 1717           | 1100                    | 172  | 215   | 251,7 | 282  | 292  |       |
| ЯМЗ-6587         | МАЗ-6425С9      | 309         | 1900                    | 1766           | 1100                    | 181  | 222   | 259   | 293  | 303  |       |
| ЯМЗ-6585-04      | К-742МСт1       | 309         | 1900                    | 1962           | 1100                    | 188,5                                      | 246,5 | 287,5 | 310  | 311  |       |
| ЯМЗ-8501.10      | Т-25.01         | 324         | 1800                    | 2230           | 1300                    | 196  | 277   | 320   | 326  | 324  |       |
| ЯМЗ-850.10       | Т-35.01Я        | 412         | 1900                    | 2695           | 1300                    | 210  | 327   | 392   | 408  | 402  |       |
| ЯМЗ-8401.10      | МЗКТ-741320     | 478         | 2100                    | 2240           | 1500                    | 157  | 224   | 315   | 375  | 422  | 460   |
| ЯМЗ-8451.10      | БелАЗ-7545      | 478         | 2100                    | 2597           | 1400                    | 204  | 298   | 381   | 430  | 463  | 477   |
| ЯМЗ-845.10       | БелАЗ-7555А     | 537         | 2100                    | 2744           | 1400                    | 198  | 308   | 402   | 458  | 490  | 523   |
| ЯМЗ-855          | Перспективный   | 775         | 2100                    | 4300           | 1150                    | 340  | 540   | 630   | 720  | 754  | 770   |

Примечание:  $N_e$  – номинальная мощность;  $n$  – частота вращения коленчатого вала двигателя;  $M_{max}$  – максимальный крутящий момент; БТЗ – Брянский тракторный завод.

В 2007 г. ЯМЗ по лицензии Renault [2] освоил производство рядных 6-цилиндровых дизелей ЯМЗ-650 (ЯМЗ-651, ЯМЗ-652, ЯМЗ-653), устанавливаемых на тяжелые грузовые автомобили МАЗ и «Урал», многоосные колесные шасси БАЗ и МЗКТ и специальную строительную технику на их базе (таблица 2).

Таблица 2

## ВСХ дизельных двигателей ЯМЗ-650

| Модель двигателя | Применение   | $N_e$ , кВт | $n$ , мин <sup>-1</sup> | $M_{max}$ , Нм | $n$ , мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при $n$ , мин <sup>-1</sup> |      |      |      |       |      |
|------------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------|-------------------------|--|------|------|------|-------|------|
|                  |              |             |                         |                |                         | 1000                                       | 1200 | 1400 | 1600 | 1800  | 2000 |
| ЯМЗ-6502.10      | МЗКТ, Евро-3 | 230         | 2000                    | 1215           | 1200                    | 124  | 152  | 176  | 201  | 222   | 230  |
| ЯМЗ-65111        | МЗКТ, Евро-4 | 266         | 1900                    | 1765           | 1100                    | 181  | 221  | 258  | 263  | 267   |      |
| ЯМЗ-6521         | МАЗ-6317     | 266         | 1900                    | 1670           | 1100                    | 169  | 210  | 245  | 258  | 265,8 |      |
| ЯМЗ-6531         | БАЗ-S36A11   | 268         | 1900                    | 1800           | 1000                    | 188,5                                      | 226  | 263  | 264  | 268   |      |
| ЯМЗ-651          | МАЗ-6430В9   | 303         | 1900                    | 1911           | 1200                    | 196  | 240  | 280  | 291  | 301,5 |      |
| ЯМЗ-652          | Урал-630701  | 303         | 1900                    | 1870           | 1100                    | 192  | 235  | 274  | 291  | 300,5 |      |
| ЯМЗ-653          | МАЗ-6430С9   | 310         | 1900                    | 2000           | 1100                    | 205  | 251  | 288  | 301  | 309   |      |

В 2011 г. на заводе началось производство рядных 4-х и 6-цилиндровых дизелей ЯМЗ-534 и ЯМЗ-536, которые широко используются на коммерческих автомобилях и специальной технике. Двигатели ЯМЗ-53442 и ЯМЗ-53422 соответствуют требованиям Правил ООН № 96-02 (ГОСТ Р 41.96–2011) и устанавливаются на внедорожные автомобили и спецтехнику на их базе. Дизелями ЯМЗ-53443 и газодизелями ЯМЗ-53444 (таблица 3), отвечающими

требованиям Евро-5, оснащаются среднетоннажные автомобили ГАЗ. Дизели ЯМЗ-53403 (Евро-5) устанавливают на двухосные автомобили Урал-43206. Двигателями ЯМЗ-53416 комплектуют тверские гусеничные экскаваторы ТХ-200. 6-цилиндровыми дизелями ЯМЗ-53663, ЯМЗ-53653, ЯМЗ-53663, ЯМЗ-53613, ЯМЗ-53603 и ЯМЗ-53676, соответствующим классу Евро-5, оснащаются грузовые автомобили МАЗ и «Урал». Петербургский тракторный завод автогрейдеры К-714 комплектует дизелем ЯМЗ-53626 мощностью 147 кВт (200 л. с.). Модели ЯМЗ-53662 и ЯМЗ-5366 устанавливают на автогрейдеры ТГ-200, ТГ-250 завода «Брянский Арсенал». Газодизельные двигатели ЯМЗ-53644, ЯМЗ-53624 и ЯМЗ-53604 (таблица 4), работающие на дизельном топливе и компримированном (сжатом) природном газе предназначены для установки на городскую коммунальную технику.

Таблица 3

ВСХ дизельных двигателей ЯМЗ-534

| Модель двигателя | $N_e$ , кВт | $n$ , мин <sup>-1</sup> | $M_{max}$ , Нм | $n$ , мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при частоте вращения $n$ , мин <sup>-1</sup> |      |      |       |       |       |       |       |
|------------------|-------------|-------------------------|----------------|-------------------------|---|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             |                         |                |                         | 800   | 1000 | 1200 | 1400  | 1600  | 1800  | 2000  | 2200  |
| ЯМЗ-53442        | 100         | 2300                    | 431            | 1200                    | 32  | 46   | 54   | 63    | 72    | 81    | 88    | 95,6  |
| ЯМЗ-53422        | 110         | 2300                    | 490            | 1200                    |   | 45   | 61,5 | 71,8  | 82    | 92,4  | 102,6 | 110   |
| ЯМЗ-53444-20     | 110         | 2300                    | 490            | 1200                    |   | 44   | 61,5 | 71,8  | 82    | 92,4  | 102,6 | 108   |
| ЯМЗ-53443        | 110         | 2300                    | 490            | 1200                    | 31  | 45   | 61,5 | 71,8  | 82    | 92,4  | 102,6 | 109   |
| ЯМЗ-53412        | 123         | 2200                    | 670            | 1200                    | 33,5  | 58   | 84   | 98    | 112   | 124   | 125   | 123   |
| ЯМЗ-53455        | 124         | 2200                    | 690            | 1400                    |   | 46   | 80,4 | 101   | 116   | 120,6 | 125,6 | 124   |
| ЯМЗ-53423        | 125         | 2300                    | 600            | 1200                    | 32  | 53   | 75,4 | 88    | 100,5 | 109   | 117   | 124   |
| ЯМЗ-53423-40     | 125         | 2300                    | 664            | 1200                    | 32,7  | 53,5 | 83   | 101   | 113   | 122,5 | 125,6 | 126,7 |
| ЯМЗ-53423-60     | 125         | 2300                    | 670            | 1200                    |   | 52,3 | 84   | 98    | 112   | 115   | 119   | 123   |
| ЯМЗ-53414        | 125         | 2300                    | 590            | 1300                    |   | 50   | 72   | 86,5  | 98,8  | 109   | 119,4 | 126   |
| ЯМЗ-53416        | 132         | 1900                    | 755            | 1300                    | 33,5  | 57,6 | 92   | 110   | 126   | 132   | 129,8 |       |
| ЯМЗ-53435        | 132         | 2200                    | 690            | 1300                    |   | 52,6 | 82,5 | 101   | 116,4 | 124,4 | 129   | 132,4 |
| ЯМЗ-53425        | 136         | 2200                    | 690            | 1500                    |   | 52,4 | 81,7 | 100,4 | 115,6 | 124,4 | 133   | 136   |
| ЯМЗ-53402        | 140         | 2300                    | 710            | 1300                    |   | 50   | 82   | 104   | 119   | 128   | 134   | 138   |
| ЯМЗ-53406-10     | 140         | 2300                    | 710            | 1300                    |   | 50   | 80   | 104   | 119   | 128   | 134   | 138   |
| ЯМЗ-53403        | 154         | 2300                    | 780            | 1200                    |   | 68   | 98   | 114   | 130   | 139   | 146   | 151   |
| ЯМЗ-53405        | 155         | 2200                    | 790            | 1300                    |   | 52,4 | 86,7 | 115,8 | 132,4 | 138,5 | 146,6 | 155   |

Таблица 4

ВСХ дизельных двигателей ЯМЗ-536

| Модель двигателя | $N_e$ , кВт | $n$ , мин <sup>-1</sup> | $M_{max}$ , Нм | $n$ , мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при частоте вращения $n$ , мин <sup>-1</sup> |      |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-------------|-------------------------|----------------|-------------------------|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             |                         |                |                         | 800   | 1000 | 1200  | 1400  | 1600  | 1800  | 2000  | 2200  |
| ЯМЗ-53646        | 149         | 1900                    | 935            | 1100                    | 60  | 97,4 | 117,5 | 137   | 146   | 148,9 | 146,6 |       |
| ЯМЗ-53654        | 154         | 2300                    | 800            | 1200                    |   | 68   | 100   | 117   | 134   | 143   | 149   | 151   |
| ЯМЗ-53662        | 163         | 2000                    | 985            | 1200                    | 64  | 98   | 124   | 144   | 159   | 162   | 163   |       |
| ЯМЗ-53622-10     | 176         | 2300                    | 900            | 1300                    |   | 73   | 106,8 | 132   | 151   | 162   | 172   | 175   |
| ЯМЗ-5362-50      | 176         | 2300                    | 910            | 1450                    | 54  | 83,5 | 111   | 133   | 151   | 163   | 171   | 176   |
| ЯМЗ-53653        | 176         | 2300                    | 1049           | 1300                    | 72  | 99   | 130   | 154   | 175,7 | 176   | 176,3 | 176,5 |
| ЯМЗ-53663        | 181         | 2300                    | 900            | 1300                    | 54  | 82,7 | 112,5 | 133   | 152   | 163   | 171   | 177   |
| ЯМЗ-53644        | 192         | 2300                    | 1099           | 1100                    | 53  | 100  | 138   | 161   | 184   | 192   | 196   | 196   |
| ЯМЗ-5366         | 193         | 1900                    | 1100           | 1000                    | 60  | 104  | 138   | 161   | 184   | 192   | 191,6 |       |
| ЯМЗ-5361         | 199         | 2300                    | 1166           | 1300                    |   | 88   | 145   | 171   | 195   | 204   | 205   | 203   |
| ЯМЗ-53642-20     | 200         | 2000                    | 1130           | 1300                    |   | 94   | 132   | 165,6 | 189   | 196   | 200   |       |
| ЯМЗ-53645-10     | 209         | 2100                    | 1220           | 1600                    | 50  | 102  | 151   | 177   | 204   | 211   | 210   |       |
| ЯМЗ-53642-10     | 210         | 2300                    | 1130           | 1300                    |   | 84   | 132   | 165,6 | 189   | 200   | 208   | 209,6 |
| ЯМЗ-53633        | 211         | 2300                    | 1255           | 1300                    | 59  | 84   | 138   | 184   | 209,4 | 209   | 209   | 214   |

| Модель двигателя | $N_e$ , кВт | $n$ , мин <sup>-1</sup> | $M_{max}$ , Нм | $n$ , мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при частоте вращения $n$ , мин <sup>-1</sup> |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-------------|-------------------------|----------------|-------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |             |                         |                |                         | 800   | 1000  | 1200  | 1400  | 1600  | 1800  | 2000  | 2200  |
| ЯМЗ-53623        | 211         | 2300                    | 1177           | 1300                    | 80  | 110,5 | 147,9 | 172,5 | 197   | 207,3 | 211,5 | 212   |
| ЯМЗ-53624        | 211         | 2300                    | 1148           | 1100                    | 52  | 104,7 | 144   | 168   | 192   | 203,5 | 208   | 209,5 |
| ЯМЗ-53645А12     | 221         | 2300                    | 1226           | 1600                    | 48  | 100   | 151   | 177   | 205   | 219,5 | 226   | 228   |
| ЯМЗ-53604        | 229         | 2300                    | 1236           | 1200                    | 53  | 99,5  | 155   | 181   | 207   | 220   | 226   | 230   |
| ЯМЗ-53613        | 229         | 2300                    | 1226           | 1200                    | 59  | 102,6 | 153,3 | 180   | 205,4 | 220,5 | 228,3 | 230   |
| ЯМЗ-53602        | 229         | 2300                    | 1226           | 1300                    |   | 104   | 148,5 | 180   | 205,4 | 218,6 | 226   | 229   |
| ЯМЗ-53675-А      | 227         | 2300                    | 1450           | 1300                    | 38  | 97    | 171   | 212   | 242   | 254   | 247   | 235   |
| ЯМЗ-53603        | 243         | 2300                    | 1275           | 1200                    | 88  | 122   | 160   | 187   | 213,6 | 226   | 233   | 237   |
| ЯМЗ-53676-10     | 241         | 2300                    | 1374           | 1450                    |   | 110   | 163   | 201   | 228   | 244   | 251   | 244   |
| ЯМЗ-53678        | 265         | 2300                    | 1300           | 1300                    |   | 105   | 148   | 191   | 218   | 236   | 247   | 258   |
| ЯМЗ-5367         | 331         | 2300                    | 1650           | 1400                    |   | 112   | 176   | 242   | 275   | 303   | 314   | 327   |

В 2024 г. ЯМЗ освоил производство 6-цилиндровых дизелей ЯМЗ-537 с увеличенным рабочим объемом 7,7 л, а также 4-цилиндровых дизелей ЯМЗ-535 рабочим объемом 5,1 л. Двигатели ЯМЗ-535 предназначены для установки на новые автомобили ГАЗ Валдай-12 и Урал-80. Двигателями ЯМЗ-537 с индексами «15», «35» и «45» оснащаются тракторы Петербургского тракторного завода серии К-5Т (таблица 5).

Таблица 5

ВСХ рядных дизелей ЯМЗ-535, ЯМЗ-537

| Модель двигателя | $N_e$ , кВт | $n$ , мин <sup>-1</sup> | $M_{max}$ , Нм | $n$ , мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при $n$ , мин <sup>-1</sup> |       |       |       |       |       |      |
|------------------|-------------|-------------------------|----------------|-------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|                  |             |                         |                |                         | 1000                                       | 1200  | 1400  | 1600  | 1800  | 2000  | 2200 |
| ЯМЗ-53523        | 140         | 2200                    | 760            | 1200                    | 60,7                                       | 95,5  | 111   | 127   | 135   | 138   | 141  |
| ЯМЗ-53504        | 154         | 2300                    | 780            | 1200                    | 56,5                                       | 97    | 114   | 130,7 | 143   | 150   | 153  |
| ЯМЗ-53513        | 155         | 2200                    | 780            | 1200                    | 62   | 98    | 114   | 130,7 | 140   | 148   | 155  |
| ЯМЗ-53503        | 176         | 2200                    | 882            | 1200                    | 65   | 111   | 129   | 148   | 159   | 167   | 176  |
| ЯМЗ-53715        | 220         | 2100                    | 1250           | 1200                    | 115  | 157   | 183   | 209   | 216,5 | 220   |      |
| ЯМЗ-53745        | 242         | 2100                    | 1400           | 1200                    | 131  | 176   | 205   | 234,5 | 241   | 242,9 |      |
| ЯМЗ-53735        | 250         | 2100                    | 1500           | 1200                    | 134  | 188,5 | 220   | 251   | 256   | 255,5 |      |
| ЯМЗ-53705        | 266         | 2100                    | 1450           | 1300                    | 109  | 173   | 212,5 | 243   | 262   | 268   | 253  |
| ЯМЗ-53703        | 267         | 2200                    | 1500           | 1200                    | 118,5                                      | 188   | 220   | 251   | 266   | 268   | 267  |

На заводе разработаны рядные 6-цилиндровые дизели семейства ЯМЗ-770 мощностью от 265 до 456 кВт (360–620 л. с.) и ЯМЗ-780 мощностью 551 кВт (750 л. с.) производство которых планируется начать в 2025 году. ВСХ новых двигателей приведены в таблице 6.

Таблица 6

ВСХ рядных дизелей ЯМЗ-770 и ЯМЗ-780

| Модель двигателя | $N_e$ , кВт | $n$ , мин <sup>-1</sup> | $M_{max}$ , Нм | $n$ , мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при $n$ , мин <sup>-1</sup> |       |      |      |      |      |      |
|------------------|-------------|-------------------------|----------------|-------------------------|--|-------|------|------|------|------|------|
|                  |             |                         |                |                         | 1000                                       | 1200  | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2200 |
| ЯМЗ-7724-60      | 300         | 1900                    | 1950           | 1100                    | 185  | 245   | 286  | 312  | 328  | 276  |      |
| ЯМЗ-7720-60      | 314         | 1900                    | 2230           | 1100                    | 223  | 280   | 327  | 357  | 350  | 190  |      |
| ЯМЗ-77202-60     | 401         | 1900                    | 2550           | 1350                    | 209  | 310   | 374  | 407  | 408  |      |      |
| ЯМЗ-7780         | 314         | 1900                    | 2230           | 1100                    | 224  | 280   | 327  | 358  | 350  | 190  |      |
| ЯМЗ-77801        | 400         | 1900                    | 2550           | 1350                    |  | 309   | 374  | 404  | 407  |      |      |
| ЯМЗ-77812        | 441         | 1900                    | 2400           | 1100                    |  | 301,5 | 351  | 395  | 430  |      |      |
| ЯМЗ-780          | 551         | 2300                    | 2550           | 1400                    | 185  | 285   | 374  | 427  | 468  | 504  | 539  |

В 2018 г. на ПАО «КАМАЗ» в дополнение к V-образным дизелям КАМАЗ-740 освоили производство рядных 6-цилиндровых дизелей КАМАЗ-910 мощностью от 280 до 441 кВт (380–600 л. с.), разработанных в кооперации с компанией Liebherr (Германия). Для установки на внедорожную и специальную технику освоен выпуск дизелей КАМАЗ-920.10 с двухступенчатым турбонаддувом мощностью от 440 до 550 кВт (600–750 л. с.) и разработаны дизели КАМАЗ-910.70 и КАМАЗ-920.70 с повышенным до 10 тыс. моточасов ресурсом.

Завод переходит на выпуск более экономичных дизелей КАМАЗ-910.50 с увеличенным рабочим объемом до 13 л. Разработаны и производятся газодизельные двигатели КАМАЗ-950.10 рабочим объемом 12 л и КАМАЗ-950.50 рабочим объемом 13 л.

На основе дизеля КАМАЗ-910 разработаны тракторные и комбайновые двигатели КАМАЗ-960 с ресурсом не менее 10 тыс. моточасов и межсервисным интервалом 2 тыс. моточасов. Дизель КАМАЗ-960.31-405 мощностью 306 кВт (416 л. с.) устанавливается на колесный трактор модели 2405 завода Ростсельмаш. ВСХ двигателей ПАО «КАМАЗ» приведены в таблице 7.

Таблица 7

ВСХ дизельных двигателей ПАО «КАМАЗ»

| Модель двигателя  | $N_e, n,$<br>кВт мин <sup>-1</sup> | $M_{max}, n,$<br>Нм мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при частоте вращения $n$ , мин <sup>-1</sup> |       |       |      |       |       |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                   |                                    |                                       | 800   | 1000  | 1200  | 1400 | 1600  | 1800  | 1900 | 2000 | 2100 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-740.735-400 | 294 1900                           | 1766 1300                             | 159   | 216   | 225,5 | 256  | 288   | 294   |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.12-450  | 331 1900                           | 2060 1000                             | 215,7   | 260   | 302   | 310  | 328   | 331   |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.15-450  | 340 1700                           | 2300 1000                             | 160   | 241   | 289   | 337  | 340   | 340   | 331  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.11-500  | 368 1800                           | 2400 1000                             | 251   | 302   | 352   | 364  | 368   | 368   |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.10-550  | 412 1800                           | 2551 1150                             | 146   | 246   | 320   | 374  | 402   | 412   | 404  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.53-420  | 337 1400                           | 2300 900                              | 159   | 241   | 289   | 337  | 326   | 320   | 309  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.52-460  | 354 1500                           | 2400 950                              | 163   | 251   | 301,5 | 352  | 352   | 343   | 338  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.51-520  | 384 1800                           | 2500 1000                             | 159   | 262   | 314   | 366  | 381   | 384   | 382  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.50-560  | 412 1900                           | 2600 1100                             | 163   | 262   | 327   | 381  | 409   | 412   | 412  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-950.10-450  | 331 1900                           | 1850 1100                             | 116   | 184   | 232   | 271  | 298   | 320   | 331  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-950.33-350  | 257 1900                           | 1700 1100                             | 109   | 169   | 214   | 249  | 265   | 264   | 257  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-950.52-400  | 294 1900                           | 1800 1100                             | 109   | 176   | 226   | 264  | 297   | 299   | 294  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-950.51-430  | 316 1900                           | 1900 1100                             | 109   | 184   | 239   | 278  | 313   | 318   | 318  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-950.50-460  | 338 1900                           | 2000 1100                             | 109   | 194   | 251   | 293  | 331   | 337   | 338  |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.74-400  | 294 1900                           | 1815 1200                             | 182   | 228   | 262   | 282  | 294   | 294   |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.73-450  | 331 1900                           | 2060 1300                             | 207   | 257   | 300   | 323  | 330   | 331   |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.72-500  | 367 1900                           | 2305 1300                             | 229   | 288   | 335   | 359  | 367   | 367   |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.71-550  | 404 1900                           | 2551 1300                             | 241   | 317   | 369   | 394  | 405   | 404   |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-910.70-600  | 441 1900                           | 2698 1300                             | 251   | 333   | 390   | 423  | 437   | 441   |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-920.12-600  | 441 1900                           | 2695 1200                             | 265   | 339   | 388   | 422  | 434,5 | 441   |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-920.11-650  | 478 2200                           | 2695 1200                             | 256   | 339   | 389   | 426  | 449   | 459   | 468  | 475  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-920.10-700  | 515 2200                           | 2695 1200                             | 262   | 339   | 393   | 436  | 471,5 | 485   | 499  | 509  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-920.13-750  | 551 2200                           | 2842 1250                             | 272   | 357   | 409   | 452  | 490   | 507,5 | 524  | 539  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-920.72-600  | 441 1900                           | 2700 1200                             | 260   | 339   | 383   | 416  | 434   | 441   |      |      |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-920.71-650  | 478 2200                           | 2700 1200                             | 260   | 339   | 383   | 417  | 447   | 457   | 465  | 473  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-920.70-700  | 515 2200                           | 2700 1200                             | 260   | 339   | 388   | 425  | 460   | 476   | 492  | 505  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-920.73-750  | 551 2200                           | 2845 1200                             | 263   | 357,5 | 400   | 447  | 485   | 500   | 520  | 536  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМАЗ-960.30-380  | 300 1600                           | 1900 900                              | 148   | 199   | 239   | 278  | 300   | 294   | 290  | 286  | 279  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| Модель двигателя | $N_e, n,$<br>кВт мин <sup>-1</sup> | $M_{max}, n,$<br>Нм мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при частоте вращения $n$ , мин <sup>-1</sup> |      |      |       |      |      |      |      |      |  |
|------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|------|------|-------|------|------|------|------|------|--|
|                  |                                    |                                       | 800   | 1000 | 1200 | 1400  | 1600 | 1800 | 1900 | 2000 | 2100 |  |
| КАМАЗ-960.31-405 | 306 1800                           | 1900 900                              | 148   | 199  | 239  | 278   | 303  | 306  | 305  | 301  | 298  |  |
| КАМАЗ-960.32-440 | 324 2100                           | 2000 900                              | 148   | 209  | 251  | 293   | 318  | 322  | 322  | 323  | 324  |  |
| КАМАЗ-960.10-450 | 348 1700                           | 2200 1000                             | 139   | 230  | 276  | 322,5 | 348  | 344  | 338  | 335  | 331  |  |
| КАМАЗ-960.11-510 | 386 1900                           | 2300 1000                             | 139   | 230  | 241  | 289   | 369  | 385  | 386  | 381  | 375  |  |
| КАМАЗ-960.20-550 | 416 1900                           | 2550 1100                             | 139   | 230  | 256  | 320   | 407  | 415  | 416  | 412  | 404  |  |
| КАМАЗ-960.21-630 | 474 1900                           | 2750 1200                             | 139   | 230  | 345  | 403   | 452  | 472  | 474  | 465  | 463  |  |

Дочернее предприятие Камского автозавода АО «КАМА-ДИЗЕЛЬ», образованное после ухода из России иностранных партнеров СП «Камминз-Кама», выпускает рядные дизельные двигатели: 4-цилиндровые КАМАЗ-445 рабочим объемом 4,5 л и 6-цилиндровые КАМАЗ-667 рабочим объемом 6,7 л и КАМАЗ-689 рабочим объемом 8,9 л. ВСХ дизелей АО «КАМА-ДИЗЕЛЬ» приведены в таблице 8. Двигатель КАМАЗ-689.330-366 отвечает требованиям Stage IIIA и устанавливается на экскаваторы UMG E400C и другую спецтехнику. Двигатели КАМАЗ-610.10-350 предназначены для специальной и внедорожной техники. На автомобили КАМАЗ-4308 устанавливают дизели КАМАЗ-445.511-190 и КАМАЗ-667.513-250. Шестицилиндровыми дизелями КАМАЗ-667.513-250 также оснащают автомобили КАМАЗ-43253. Дизели КАМАЗ-667.512-285 устанавливают на полноприводные автомобили КАМАЗ-43502 и КАМАЗ-5350, дизели КАМАЗ-667.511-300 – на бортовые автомобили КАМАЗ-65117 и самосвалы КАМАЗ-53605, КАМАЗ-65115, дизели КАМАЗ-667.510-310 – на автомобили КАМАЗ-6540 и самосвалы КАМАЗ-45143, двигатели КАМАЗ-689.510-400 – на 20-тонные самосвалы КАМАЗ-6520 и седельные тягачи КАМАЗ-54902 семейства К5.

Таблица 8

ВСХ дизельных двигателей АО «КАМА-ДИЗЕЛЬ»

| Модель двигателя  | $N_e, n,$<br>кВт мин <sup>-1</sup> | $M_{max}, n,$<br>Нм мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при частоте вращения $n$ , мин <sup>-1</sup> |       |       |       |       |       |       |       |      |  |
|-------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|
|                   |                                    |                                       | 800   | 1000  | 1200  | 1400  | 1600  | 1800  | 2000  | 2200  | 2400 |  |
| КАМАЗ-445.512-170 | 124 2300                           | 600 1100                              | 45,5  | 75,4  | 88    | 100,5 | 113   | 124   | 124   |       |      |  |
| КАМАЗ-445.511-190 | 136 2300                           | 700 1200                              | 45,5  | 88    | 102,6 | 117   | 128   | 134   | 137   |       |      |  |
| КАМАЗ-445.520-210 | 152 2300                           | 760 1300                              | 44  | 85    | 111,4 | 127   | 134   | 146   | 152   |       |      |  |
| КАМАЗ-445.510-210 | 154 2300                           | 800 1300                              | 45,5  | 92    | 117   | 134   | 143   | 147   | 154,8 |       |      |  |
| КАМАЗ-667.513-250 | 178 2500                           | 937 1300                              |   | 110,6 | 137   | 156   | 170   | 175   | 176   | 178   |      |  |
| КАМАЗ-667.512-285 | 196 2500                           | 1007 1300                             |   | 119   | 148   | 168,5 | 187   | 198   | 207   | 204   |      |  |
| КАМАЗ-667.511-300 | 215 2500                           | 1087 1300                             |   | 127   | 159   | 182   | 198   | 209,4 | 211   | 213,6 |      |  |
| КАМАЗ-667.510-310 | 219 2300                           | 1200 1300                             | 42  | 95    | 140   | 175,9 | 201   | 208   | 213   | 223   |      |  |
| КАМАЗ-610.10-350  | 257 2600                           | 1140 1400                             |   | 88    | 134   | 167   | 191   | 205   | 220   | 233   | 246  |  |
| КАМАЗ-689.512-340 | 252 2100                           | 1500 1100                             | 79,6  | 137,9 | 188,5 | 219,9 | 241   | 248,4 | 250,5 |       |      |  |
| КАМАЗ-689.330-366 | 264 2100                           | 1500 1400                             | 79,5  | 142   | 188,5 | 220   | 242,9 | 256   | 265   |       |      |  |
| КАМАЗ-689.511-360 | 265 2100                           | 1550 1100                             | 79,6  | 136,1 | 194,8 | 227   | 242   | 251,6 | 258,6 |       |      |  |
| КАМАЗ-689.510-400 | 294 2100                           | 1700 1400                             | 83,8  | 147,2 | 207,3 | 249,2 | 267,4 | 281,4 | 290,9 |       |      |  |

Тутаевский моторный завод, входящий в состав ПАО «КАМАЗ», производит 8-цилиндровые V-образные турбодизели для тракторов Петербургского тракторного завода семейства К-7М «Кировец» и трубоукладчиков Чебоксарского завода промышленных тракторов АО «Промтрактор» ТГ-321 «Четра». Дизели тракторов К-7М оснащены электронной системой управления. При ремонте импортных бульдозеров устанавливают дизели ТМЗ-

8486.10-03 и ТМЗ-8486.10-02 (таблица 9). На заводе освоено производство чугунных головок блоков цилиндров и проходят работы по расширению технологических возможностей для увеличения объемов производства до 6 тыс. двигателей в год. Разработан дизель ТМЗ-8807.10 мощностью 480 кВт (652 л. с.) с увеличенным рабочим объемом до 18,47 л, предназначенный для установки на комбайны Гомсельмаш КВК-8060 «Палессе». В 2024 г. завод освоил выпуск дизелей ТМЗ-8487.10-03 мощностью 331 кВт (450 л. с.) для бульдозеров D30 завода «ДСТ-Урал» и ТМЗ-8523 мощностью 373 кВт (507 л. с.) для чебоксарских тракторов Т-30.03 «Четра».

Таблица 9

ВСХ тракторных дизелей Гутаевского моторного завода

| Модель двигателя | Применение      | $N_e$ ,<br>кВт | $n$ ,<br>мин <sup>-1</sup> | $M_{max}$ ,<br>Нм | $n$ ,<br>мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при $n$ , мин <sup>-1</sup> |       |      |      |       |      |
|------------------|-----------------|----------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|--|-------|------|------|-------|------|
|                  |                 |                |                            |                   |                            | 1000                                       | 1200  | 1400 | 1600 | 1800  | 2000 |
| ТМЗ-8482.10      | ДЗ-98В          | 197            | 1700                       | 1352              | 1400                       | 126  | 163   | 198  | 206  |       |      |
| ТМЗ-8481.10-11   | К-730М          | 220            | 1900                       | 1373              | 1400                       | 117  | 160   | 201  | 223  | 220,5 |      |
| ТМЗ-8481.10      | К-735М          | 257            | 1900                       | 1570              | 1300                       | 146  | 188   | 230  | 256  | 258   |      |
| ТМЗ-8486.10-03   | Caterpillar 9-L | 265            | 2000                       | 1520              | 1300                       | 144  | 182   | 222  | 244  | 256   | 250  |
| ТМЗ-8481.10-02   | К-739М          | 287            | 1900                       | 1864              | 1300                       | 149  | 211   | 273  | 290  | 288   |      |
| ТМЗ-8522.10      | ТГ-321 «Четра»  | 305            | 1750                       | 1960              | 1300                       | 148  | 242   | 284  | 300  |       |      |
| ТМЗ-8481.10-04   | К-742М          | 309            | 1900                       | 1960              | 1300                       | 162  | 226   | 287  | 307  | 308   |      |
| ТМЗ-8481.10-06   | ГСМ КВК-800     | 309            | 1900                       | 1960              | 1300                       | 149  | 220   | 283  | 301  | 310   |      |
| ТМЗ-8486.10-02   | Комatsu D-355С  | 309            | 2000                       | 1725              | 1300                       | 144  | 207   | 252  | 280  | 300   | 309  |
| ТМЗ-8424.10-07   | БелАЗ-75404     | 312            | 2100                       | 1686              | 1400                       | 142  | 200   | 263  | 289  | 302   | 308  |
| ТМЗ-8424.10-031  | БАЗ-69096       | 312            | 1900                       | 1864              | 1350                       | 150  | 213,6 | 273  | 298  | 308   |      |
| ТМЗ-8437.10      | БелАЗ-7540С     | 312,5          | 2100                       | 1913              | 1300                       | 144  | 216   | 280  | 298  | 306   | 309  |
| ТМЗ-8424.10-06   | БелАЗ-7821      | 312            | 2100                       | 1913              | 1400                       | 142  | 226   | 280  | 312  | 328   | 322  |
| ТМЗ-8491.10-032  | Шасси БАЗ       | 330            | 2100                       | 1764              | 1300                       | 149  | 214   | 257  | 284  | 305   | 324  |
| ТМЗ-8487.10-03   | ДСТ-Урал D30    | 330            | 1900                       | 2158              | 1400                       | 185  | 252   | 316  | 337  | 333   |      |
| ТМЗ-8486.10-04   | ГСМ КВК-800     | 331            | 2000                       | 1960              | 1300                       | 150  | 243   | 287  | 327  | 339   | 331  |
| ТМЗ-8492.10-033  | БАЗ-6909, -6910 | 345            | 2100                       | 1764              | 1300                       | 148  | 213,6 | 258  | 290  | 316   | 335  |
| ТМЗ-8431.10      | БАЗ-6909        | 345            | 2100                       | 1864              | 1300                       | 140  | 213,6 | 273  | 302  | 320   | 335  |
| ТМЗ-8424.10-03   | МЗКТ-79092      | 345            | 2100                       | 1864              | 1350                       | 149  | 222   | 273  | 302  | 323   | 339  |
| ТМЗ-8493.10-034  | БАЗ-64022       | 367            | 2100                       | 1960              | 1400                       | 149  | 239   | 287  | 318  | 339   | 356  |
| ТМЗ-8463.10      | МЗКТ-7930       | 368            | 2100                       | 1960              | 1300                       | 149  | 237   | 287  | 318  | 342   | 359  |
| ТМЗ-8523.10      | Т-30.03 «Четра» | 373            | 1900                       | 2250              | 1400                       | 167,5                                      | 270   | 330  | 364  | 375   |      |
| ТМЗ-8807.10      | ГСМ КВК-8060    | 480            | 2000                       | 2698              | 1300                       | 250  | 332   | 412  | 463  | 478   | 480  |

Минский моторный завод (ММЗ) традиционно [3] выпускает 4-х и 6-цилиндровые рядные дизельные двигатели Д-243, Д-245 и Д-260 (таблица 10), которыми оснащают тракторы Минского тракторного завода, погрузчики «Амкодор» и другую строительную и дорожно-уборочную технику в России и Беларуси [3]. Дизели Д-245.35Е5 экологического класса Евро-5 устанавливаются на автомобили МАЗ-4381N2 Минского автомобильного завода. В 2006 г. началось производство 6-цилиндровых двигателей Д-262 мощностью 220 кВт (300 л. с.), имеющих увеличенный рабочий объем 8,7 л. Дизели ММЗ сертифицированы на соответствие требованиям Stage II, Stage IIIA, что указывается в обозначении модели двигателя соответственно S2, S3A.

Таблица 10

## ВСХ дизельных двигателей ММЗ

| Модель двигателя | Применение    | $N_e, n,$<br>кВт мин <sup>-1</sup> | $M_{max}, n,$<br>Нм мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при $n, \text{мин}^{-1}$ |      |       |       |       |       |      |  |  |
|------------------|---------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|------|-------|-------|-------|-------|------|--|--|
|                  |               |                                    |                                       | 1000                                    | 1200 | 1400  | 1600  | 1800  | 2000  | 2200 |  |  |
| ММЗ-4DTI.1       | Stage IIIA    | 53 2400                            | 240 1600                              | 12                                      | 18,3 | 32,7  | 41    | 45,6  | 49    | 50,7 |  |  |
| Д-244S2          | МТЗ-510/512   | 44 1700                            | 278 1400                              | 22                                      | 32   | 41    | 44    |       |       |      |  |  |
| Д-242S2          | МТЗ-520/522   | 47,5 1800                          | 288 1500                              | 22                                      | 32   | 42    | 47    | 47,5  |       |      |  |  |
| Д-243S2          | МТЗ-800/820   | 60 2200                            | 298 1600                              | 24,6                                    | 33   | 42,5  | 50    | 54    | 57,5  | 60   |  |  |
| Д-245.43S3A      | МТЗ-920.4     | 62 1800                            | 410 1400                              |   | 48   | 60,1  | 63    | 62    |       |      |  |  |
| Д-245.5S3A       | МТЗ-922.4     | 70 1500                            | 462 1400                              | 42                                      | 56   | 68    |       |       |       |      |  |  |
| Д-245S3A         | МТЗ-1025.4    | 81 2200                            | 440 1600                              |   | 49   | 61,5  | 73,7  | 78,5  | 80,7  | 81   |  |  |
| Д-245S3AM        | МТЗ-1022.4    | 81 2200                            | 440 1600                              | 39                                      | 50   | 66    | 73,5  | 77    | 80    | 81   |  |  |
| Д-245.2S3AM      | МТЗ-1022.4    | 90 2200                            | 501 1600                              | 40                                      | 55   | 71    | 84,5  | 89,8  | 90    | 90   |  |  |
| Д-245.2S3A       | МТЗ-1220.4    | 90 2200                            | 495 1600                              | 43                                      | 56   | 70    | 83    | 89    | 90    | 90   |  |  |
| Д-245.7E5        | ПАЗ-320540-07 | 95,6 2200                          | 422 1100                              | 43,9                                    | 53   | 61,8  | 70,7  | 79,5  | 88,4  | 95,6 |  |  |
| Д-245.9E2        | ЭО-3223А      | 100 2400                           | 460 1600                              |   | 54   | 67    | 77    | 85    | 91    | 96   |  |  |
| Д-245.35E5       | МАЗ-4381N2    | 130 2300                           | 680 1200                              | 60,7                                    | 85,4 | 99,7  | 113,9 | 124,4 | 129,8 | 129  |  |  |
| Д-260.2S3A       | МТЗ-1221.4    | 100 2100                           | 573 1600                              | 53                                      | 69   | 84    | 96    | 100   | 100   |      |  |  |
| Д-260.14S2       | UMG ГС-14.02  | 103 1800                           | 710 1400                              | 54,5                                    | 82   | 104   | 108   | 103   |       |      |  |  |
| Д-260.1S3A       | МТЗ-1523      | 116 2100                           | 668 1600                              | 63                                      | 80   | 98    | 112   | 115,5 | 116   |      |  |  |
| Д-260.9          | Амкодор-352С  | 136 2100                           | 720 1400                              |   |      | 106   | 118   | 126   | 132   |      |  |  |
| Д-260.3          | ДЗ-198        | 147 2100                           | 883 1400                              | 103                                     | 115  | 126   | 134   | 140   | 145   |      |  |  |
| Д-260.4S3A       | ГСМ КЗС-812   | 156 2100                           | 923 1600                              | 87                                      | 113  | 133   | 155   | 155   | 156   |      |  |  |
| Д-262.2S3A       | Барс ОС-3000М | 189 2100                           | 1130 1500                             | 71                                      | 117  | 162   | 183   | 188,5 | 188,5 |      |  |  |
| Д-262.1S3A       | Stage IIIA    | 207 2100                           | 1233 1500                             | 73                                      | 123  | 174   | 201   | 205   | 206   |      |  |  |
| Д-262S2          | Амкодор-2561  | 220 2100                           | 1250 1500                             | 73                                      | 130  | 176   | 203   | 216   | 222   |      |  |  |
| Д-262S3A         | Stage IIIA    | 220 2100                           | 1320 1500                             | 75,4                                    | 132  | 190,6 | 218   | 222   | 222   |      |  |  |

В 2013 г. Минский моторный завод освоил выпуск малогабаритных 3-цилиндровых дизельных двигателей жидкостного охлаждения ММЗ-3LD, а в 2021 г. и однотипных 4-цилиндровых дизелей ММЗ-4D. Двигатели устанавливаются на малогабаритные тракторы Минского тракторного завода, вилочные погрузчики «Силант» и минипогрузчики «Амкодор» с бортовым поворотом. ВСХ малогабаритных двигателей ММЗ приведены в таблице 11.

Таблица 11

## ВСХ малогабаритных двигателей ММЗ

| Модель двигателя | Применение    | $N_e, n,$<br>кВт мин <sup>-1</sup> | $M_{max}, n,$<br>Нм мин <sup>-1</sup> | Мощность, кВт, при $n, \text{мин}^{-1}$ |      |      |      |      |      |      |      |  |
|------------------|---------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|--|
|                  |               |                                    |                                       | 1000                                    | 1200 | 1400 | 1800 | 2200 | 2600 | 2800 | 3000 |  |
| ММЗ-3LD          | МТЗ-320.4М    | 26 3000                            | 97 1600                               | 9,8                                     | 12,4 | 14   | 18   | 22   | 26   | 26,4 | 26   |  |
| ММЗ-3LDT         | Силант ПД-1.5 | 31 3000                            | 120 2000                              | 8,1                                     | 11   | 15   | 22,4 | 27,6 | 30   | 30,8 | 31   |  |
| ММЗ-3LDTI        | Stage II      | 36 3000                            | 140 2000                              | 8,2                                     | 13   | 17,6 | 26   | 31,8 | 35,7 | 36,6 | 36   |  |
| ММЗ-4D           | МТЗ-422       | 35 2800                            | 127 1800                              |   | 14   | 17   | 24   | 29,5 | 32,5 | 35   |      |  |
| ММЗ-4DT          | Амкодор WS080 | 47 2800                            | 200 1800                              |   | 15   | 22   | 37,7 | 46   | 49   | 47   |      |  |
| ММЗ-4DTI         | Stage IIIA    | 55 3000                            | 220 2200                              | 12,5                                    | 17   | 23   | 38,5 | 51   | 54   | 54,5 | 55   |  |
| ММЗ-4DTI.1       | Stage IIIA    | 53 2400                            | 240 1600                              | 12                                      | 18,3 | 32,7 | 45,6 | 50,7 |      |      |      |  |

По таблице 12 можно оценить массу и другие технические параметры базовых моделей современных двигателей. Выбор двигателя осуществляется исходя из компоновочной прора-

ботки будущей машины с учетом особенностей ее работы. Мощность выбираемого двигателя должна превышать значения, полученные при определении потребной мощности, необходимой для работы машины в самом напряженном режиме с учетом КПД привода и продолжительности работы машины. Автомобильные дизели не способны продолжительно работать в режиме максимальной мощности. Поэтому при выборе такого двигателя важно иметь запас мощности в пределах 1,06...1,35. Тракторные дизели могут продолжительное время работать с максимальной нагрузкой. Запас мощности для длительного режима работы этих двигателей выбирают в пределах 1,0...1,05 в зависимости от условий работы [4, 5].

Таблица 12

Технические параметры базовых моделей отечественных автотракторных двигателей

| Производитель,<br>базовая модель | Тип,<br>число<br>цилин-<br>дров | Диаметр<br>и ход<br>поршня,<br>мм | Рабо-<br>чий<br>объем,<br>л | Номинальная<br>мощность при<br>частоте вращения |       |                   | Макс. крутящий<br>момент при час-<br>тоте вращения |       |                   | Уд.<br>расход<br>г<br>кВт·ч | Мас-<br>са,<br>кг |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|-------|-------------------|--|-------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
|                                  |                                 |                                   |                             | кВт   | л. с. | мин <sup>-1</sup> | Н·м  | кгс·м | мин <sup>-1</sup> |                             |                   |
| ММЗ-3LD                          | Д-3РВ                           | 87×90                             | 1,6                         | 26  | 35    | 3000              | 100  | 10,2  | 1700              | 255                         | 220               |
| ММЗ-4D                           | Д-4РВ                           | 87×90                             | 2,12                        | 36  | 49    | 2800              | 135  | 13,8  | 1800              | 255                         | 250               |
| ММЗ Д-243S2                      | Д-4РВ                           | 110×125                           | 4,75                        | 60  | 81,6  | 2200              | 298  | 30,4  | 1600              | 226*                        | 430               |
| ММЗ Д-245S3A                     | Д-4РВ                           | 110×125                           | 4,75                        | 81  | 110   | 2200              | 440  | 45    | 1600              | 220*                        | 450               |
| ММЗ Д-260.1S3A                   | Д-6РВ                           | 110×125                           | 7,12                        | 116   | 158   | 2100              | 660  | 67,3  | 1600              | 220*                        | 690               |
| ММЗ Д-262S3A                     | Д-6РВ                           | 115×140                           | 8,7                         | 220   | 300   | 2100              | 1320   | 134,6 | 1500              | 230*                        | 900               |
| ЯМЗ-53414                        | ГД-4РВ                          | 105×128                           | 4,43                        | 125   | 170   | 2300              | 590  | 60    | 1200              | 193                         | 460               |
| ЯМЗ-53403                        | Д-4РВ                           | 105×128                           | 4,43                        | 154,4   | 210   | 2300              | 780  | 79,5  | 1200              | 198                         | 500               |
| ЯМЗ-53513                        | Д-4РВ                           | 110×135                           | 5,1                         | 155   | 211   | 2200              | 780  | 79,5  | 1200              | 195                         | 540               |
| ЯМЗ-53604                        | ГД-6РВ                          | 105×128                           | 6,65                        | 229   | 312   | 2300              | 1236   | 126   | 1200              | 210                         | 640               |
| ЯМЗ-53603                        | Д-6РВ                           | 105×128                           | 6,65                        | 243   | 330   | 2300              | 1275   | 130   | 1300              | 195                         | 640               |
| ЯМЗ-53675-А                      | Д-6РВ                           | 105×135                           | 7,0                         | 235   | 320   | 2200              | 1450   | 148   | 1300              | 200                         | 620               |
| ЯМЗ-5367                         | Д-6РВ                           | 105×135                           | 7,0                         | 331   | 450   | 2300              | 1650   | 168   | 1400              | 197                         | 690               |
| ЯМЗ-53703                        | Д-6РВ                           | 110×135                           | 7,7                         | 265   | 360   | 2200              | 1500   | 153   | 1200              | 194                         | 640               |
| ЯМЗ-6567                         | Д-6V90                          | 130×140                           | 11,15                       | 243   | 330   | 1900              | 1521   | 155   | 1100              | 195,8                       | 1124              |
| ЯМЗ-653                          | Д-6РВ                           | 123×156                           | 11,12                       | 310   | 422   | 1900              | 2000   | 203,8 | 1100              | 190                         | 970               |
| ЯМЗ-6587                         | Д-8V90                          | 130×140                           | 14,85                       | 309   | 420   | 1900              | 1766   | 180   | 1100              | 195,8                       | 1250              |
| ЯМЗ-77812                        | Д-6РВ                           | 130×156                           | 12,43                       | 441   | 600   | 1900              | 2400   | 245   | 1100              | 210*                        | 1050              |
| ЯМЗ-780                          | МД-6РВ                          | 130×156                           | 12,43                       | 551   | 750   | 2300              | 2550   | 260   | 1600              | 225*                        | 1050              |
| ЯМЗ-850.10                       | Д-12V90                         | 140×140                           | 25,86                       | 412   | 560   | 1900              | 2695   | 275   | 1300              | 211                         | 2050              |
| ЯМЗ-8401.10-03                   | Д-12V90                         | 140×140                           | 25,86                       | 478   | 650   | 2100              | 2450   | 250   | 1300              | 206                         | 1840              |
| ЯМЗ-855                          | Д-12V90                         | 140×140                           | 25,86                       | 775   | 1054  | 2100              | 4300   | 439   | 1150              | 194                         | 2300              |
| КАМАЗ-445.511-190                | Д-4РВ                           | 107×124                           | 4,5                         | 140   | 190   | 2300              | 700  | 71,3  | 1200              | 205                         | 374               |
| КАМАЗ-667.513-250                | Д-6РВ                           | 107×124                           | 6,7                         | 184   | 250   | 2500              | 937  | 95,5  | 1300              | 200                         | 485               |
| КАМАЗ-689.510-400                | Д-6РВ                           | 114×144                           | 8,9                         | 294   | 400   | 2100              | 1700   | 173   | 1400              | 180                         | 760               |
| КАМАЗ-740.735-400                | Д-8V90                          | 120×130                           | 11,76                       | 294   | 400   | 1900              | 1766   | 180   | 1300              | 190,4                       | 885               |
| КАМАЗ-910.10-550                 | Д-6РВ                           | 130×150                           | 11,95                       | 404   | 550   | 1900              | 2550   | 260   | 1150              | 183,6                       | 1140              |
| КАМАЗ-920.10-700                 | Д-6РВ                           | 130×150                           | 11,95                       | 515   | 700   | 2200              | 2695   | 275   | 1200              | 184                         | 1160              |
| КАМАЗ-910.50-560                 | Д-6РВ                           | 132×158                           | 12,97                       | 412   | 560   | 1900              | 2600   | 265   | 1100              | 176                         | 1187              |
| КАМАЗ-950.50-460                 | ГД-6РВ                          | 132×158                           | 12,97                       | 338   | 460   | 1900              | 2000   | 204   | 1100              | 185                         | 1180              |
| ТМЗ-8481.10-02                   | Д-8V90                          | 140×140                           | 17,24                       | 287   | 390   | 1900              | 1864   | 190   | 1300              | 204                         | 1395              |
| ТМЗ-8807.10                      | Д-8V90                          | 140×150                           | 18,47                       | 480   | 652   | 2000              | 2698   | 275   | 1300              | 204                         | 1500              |

Примечание: Д – дизель; ГД – газодизельный; М – многотопливный; РВ – рядное вертикальное; V90 – V-образное расположение цилиндров под углом 90°; Уд. расход – удельный минимальный расход топлива; \* – удельный расход топлива при номинальной мощности.

Приведенные в статье технические параметры двигателей и их внешние скоростные характеристики при проектировании новых строительных машин позволяют обоснованно подобрать современный двигатель, рассчитать или подобрать агрегаты трансмиссии и ходовой части, выполнить тяговый расчет. Тяговый расчет дает возможность определить на начальном этапе проектирования скорости движения и силы тяги строительной машины в рабочем и транспортном режиме с учетом заданных условий эксплуатации.

#### Библиографический список

1. Данилов Р.Г. Автомобильные двигатели дорожных машин. Послевоенный период // Строительные и дорожные машины. – 2023. – № 11. –С. 12–29.
2. Кустарев Г.В., Данилов Р.Г., Андрюхов Н.М. Автотракторные двигатели наземной транспортно-технологической техники на современном этапе // IV Международный Косыгинский Форум «Проблемы инженерных наук: формирование технологического суверенитета». Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики страны» (20-22 февраля 2024 г.). Т. 1. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2024. –С. 154–161.
3. Данилов Р.Г. Тракторные двигатели дорожных машин. Послевоенный период // Строительные и дорожные машины. – 2023. – № 9. –С. 3–16.
4. Машины для содержания городских и автомобильных дорог: Кн. 1. Содержание дорог в летний период: учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов, А.Г. Савельев, под общ. ред. В.И. Баловнева. –3-е изд. доп. и перераб. –М.: Техполиграфцентр, 2013. – 323 с.
5. Данилов Р.Г. Выбор двигателя для привода специального оборудования дорожно-строительных машин // Строительные и дорожные машины. – 2002. – № 8. –С. 29-31.

#### References

1. Danilov R.G. Automobile engines of road machines. Post-war period // Construction and road machines. – 2023. – No. 11. –pp. 12-29.
2. Kustarev G.V., Danilov R.G., Andryukhov N.M. Autotractor engines of ground-based transport and technological equipment at the present stage // IV International Kosygin'sky Forum "Problems of engineering sciences: formation of technological sovereignty". Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium "Modern engineering problems of key sectors of the country's economy" (February 20-22, 2024). Volume 1. Moscow: Kosygin Russian State University, 2024. –pp. 154-161.
3. Danilov R.G. Tractor engines of road machines. Post-war period // Construction and road machines. – 2023. – No. 9. –pp. 3-16.
4. Machines for the maintenance of urban and highways: Book 1. Maintenance of roads in the summer: a textbook for universities / V.I. Balovnev, R.G. Danilov, A.G. Savelyev, under the general editorship of V.I. Balovnev. –3rd ed. additional and revised –M.: Techpoligrafcenter, 2013. – 323 p.
5. Danilov R.G. The choice of an engine for driving special equipment of road-building machines // Construction and road machines. - 2002. – No. 8. –pp. 29-31.

УДК 629.01

*Воронежский государственный  
технический университет  
Аспирант кафедры строительной техники  
и инженерной механики им. профессора  
Н.А. Ульянова Н.С. Жидких  
Студент факультета радиотехники и электроники Д.С. Мацокин  
Студент факультета машиностроения  
и аэрокосмической техники А.А. Андрейкин  
Студент факультета инженерных систем  
и сооружений Е.А. Логунова  
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (473) 207-22-20  
e-mail: ceo@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 Radio Engineering  
and Electronics D.S. Matsokin  
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 (473) 207-22-20  
e-mail: ceo@vrtx-lab.ru*

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

### **ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ АВТОМОБИЛЯ НА ПРИМЕРЕ СТУДЕНЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРНО-ГОНОЧНОЙ КОМАНДЫ**

В работе обозначена проблема дефицита кадров отечественной автомобильной промышленности. Рассмотрен проект «Формула Студент» в качестве инструмента повышения уровня подготовки будущих автомобильных инженеров. Приведен пример организации работы в студенческой команде ВГТУ, разрабатывающей гоночные болиды для международных соревнований. Предложено применение студенческих компетенций в работе над созданием новых автомобилей для дорог общего пользования.

**Ключевые слова:** Формула Студент, автомобильная промышленность, проектирование, конструирование, цифровой прототип, параметризация.

N.S. Zhidkikh, D.S. Matsokin, A.A. Andreikin, E.A. Logunova

### **MOTOR VEHICLE DEVELOPMENT PROCESS STRUCTURING USING THE EXAMPLE OF A STUDENT ENGINEERING RACING TEAM**

The paper identifies the problem of shortage of personnel in the domestic automotive industry. The "Formula Student" project is considered as a tool to improve the level of training of future automotive engineers. An example of the organization of work in the VSTU student team developing racing cars for international competitions is given. The application of student competencies in the work on the creation of new cars for public roads is proposed.

**Keywords:** Formula Student, automotive industry, design, construction, digital prototype, parametrization.

На сегодняшний день автомобильная промышленность Российской Федерации испытывает острую нехватку высококвалифицированных специалистов [1]. При этом контрольные цифры приема по УГСН 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта», в числе

которых присутствуют направления подготовки автомобильной направленности, ежегодно снижаются и на 2024 г. составляют 18 687 чел. или 3,38% в общем перечне УГСН [2]. Эти данные свидетельствуют о невозможности покрыть сложившийся кадровый дефицит в ближайшие годы. Это также подчеркивает значимость высокоуровневой подготовки будущих автомобильных инженеров, уже начавших обучение по профильным специальностям в российских университетах.

Задачу подготовки инженеров, имеющих богатый практический опыт уже к моменту окончания университета, для автомобильной и других отраслей промышленности в мире успешно решает запущенный более 40 лет назад в США проект «Формула Студент». Это международные инженерные соревнования, в рамках которых студенческие команды самостоятельно проектируют, собирают и испытывают гоночные автомобили класса «Формула» в соответствии с ежегодно обновляемым международным регламентом. Такие соревнования проводятся в 23 странах мира (на 2024 г.), в т. ч. и в России, а общее число команд-участниц насчитывает более 1000.

«Формула Студент» отличается особой ориентированностью на грамотный инженерный подход, требуя от студенческих коллективов глубокого теоретического понимания различных аспектов инженерии, совмещенных с практическим воплощением через самостоятельное изготовление компонентов автомобиля и взаимодействие с промышленными предприятиями. Соревнования включают в себя статические испытания, в ходе которых профессиональными судьями проводится оценка полученных в ходе создания автомобиля знаний студентов, а также динамические – призванные испытать построенные болиды в условиях предельных нагрузок.

Каждая команда, принимающая участие в «Формуле», сталкивается не только с вызовами технического характера. Организационные вопросы также ложатся на плечи студентов, что создает возможность создания особой структуры команды, позволяющее проявить себя не только как инженеров, но и менеджеров в области автомобилестроения. Подобный опыт и навыки ставят участников «Формулы Студент» на лидирующие позиции на рынке труда в автомобильной отрасли.

В качестве примера организации процесса разработки болида «Формулы Студент» в данной работе будет рассмотрена студенческая инженерно-гоночная команда Воронежского государственного технического университета VRTx Lab, имеющая за плечами 4-летний опыт участия в соревнованиях в различных ролях – как непосредственных участников, так и организаторов – в качестве технических инспекторов.

Процесс разработки автомобиля в команде ВГТУ разделен на три основных – проектирование, конструирование и экономическую оценку. Это следует из определения проектирования как поиска обоснованных технических решений и конструирования как создания конкретной однозначной конструкции изделия [3]. В соответствии с этим в команде сформированы проектировочный, конструкторский и экономический отделы.

Проектировочный отдел решает задачи, связанные с формированием общей концепции автомобиля, эскизной компоновкой всех его систем, а также математическим моделированием режимов движения и расчетом технических характеристик. Для этого применяются следующие методики и инструменты разработки:

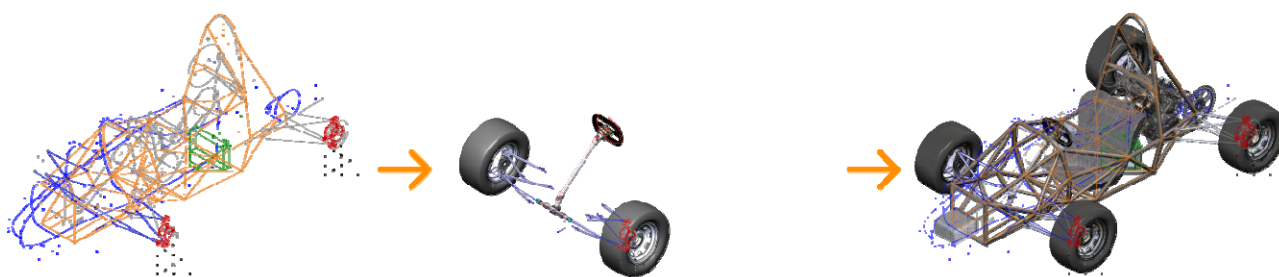
- Цифровой прототип – создание виртуальной копии будущего автомобиля, воспроизводящей все его свойства как сложной технической системы – геометрию, прочностные характеристики, кинематику и динамику, а также производственные и эксплуатационные свойства и параметры;
- «Сверху-вниз» – проектирование, начиная от общей компоновки и взаимосвязей узлов, заканчивая конечными деталями – с целью исключения несоответствия техническому заданию на поздних этапах разработки;

- Компоновочные эскизы – заложение взаимосвязей узлов и деталей посредством базовой геометрии, позволяющее автоматизировать перестроение смежных компонентов при внесении изменений на любых этапах разработки;
- Параметризация – привязка геометрических и кинематических параметров к расчетным значениям, обеспечивающее контроль соответствия техническому заданию.

Таким образом, проектировочный отдел формирует входные функциональные и технические описания всех систем и автомобиля целиком, а также сборку автомобиля в САПР, содержащую в себе полностью взаимосвязанные компоновочные эскизы всех систем [4].

Конструкторский отдел формирует твердотельную сборку автомобиля и его узлов в САПР, осуществляя инженерный анализ в CAE-модулях с целью обеспечения работоспособности автомобиля в заданных условиях движения. При этом контекстные связи, полученные в результате настройки компоновочных эскизов на этапе проектирования, обеспечивают устойчивые связи и твердотельных деталей, позволяя им автоматически перестраиваться при изменении компоновки узла. Это обеспечивает снижение трудозатрат при корректировке компоновки по мере уточнения параметров движения, а также исключает риски несоответствия входным требованиям. Итогом работы конструкторского отдела является твердотельная сборка болида в САПР (рис.) и набор конструкторской документации, необходимой для производства [5, 6].

Экономический отдел команды осуществляет экономическую оценку конструкции автомобиля и производственных операций, определенных конструкторами команды. Данные оформляются в форме смет на каждую систему автомобиля, которые представляются судьям соревнований в ходе одного из статических испытаний. Это также необходимо для корректировки затрат при производстве будущих болидов команды, поскольку бюджет формируется за счет внешних спонсоров, а не самого университета.



**Рис.** Переход от компоновочных эскизов к твердотельной сборке гоночного болида с контекстными связями

Таким образом, «Формула Студент» является проектом, обеспечивающим высокий уровень теоретической и практической подготовки автомобильных инженеров. Организация процесса разработки автомобилей для соревнований не уступает отраслевым запросам, что позволяет применять студенческие компетенции в работе над новыми отечественными автомобилями для дорог общего пользования. Однако, подобного рода проекты требуют существенного объема финансирования, что невозможно без привлечения спонсорской поддержки. Поэтому снижение дефицита кадров в автопроме может быть достигнуто в том числе за счет адресной поддержки студенческих коллективов предприятиями отрасли. При этом решающее значение имеют не только материальные ресурсы, но и прямое взаимодействие профессионалов индустрии с перспективными кадрами.

## Библиографический список

1. Forbes: Ученые назвали отрасли промышленности с острой нехваткой квалифицированных кадров : сетевое издание. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/494317-ucenye-nazvali-otrasli-promyslennosti-s-samoj-ostroj-nehvatkoj-kvalifirovannyh-kadrov> (дата обращения: 15.10.2024).
2. XXII Международный автомобильный научный форум / Создание и развитие образовательной среды в области инновационные транспортных средств. Формирование востребованных профессиональных компетенций : Материалы МАНФ-2024. URL: <https://iasf.nami.ru/about/archive/> (дата обращения 19.10.2024).
3. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 стр., ил.
4. 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.
5. Разработка интегрированной системы управления проектами полного цикла создания автотранспортных средств / А. С. Овсянников, Н. С. Жидких, И. Д. Самотин, А. В. Иванова // Качество и жизнь. – 2023. – № 2(38). – С. 30-35. – DOI 10.34214/2312-5209-2023-38-2-30-35. – EDN ZMAPLQ.
6. Project management model of motor vehicle development with consideration of built-in quality concept requirements / N. Zhidkikh, A. Smolyaninov, Yu. Deniskin [et al.] // E3S Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference “Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering” (ERSME-2023), Rostov-on-Don, Russia, 01–03 марта 2023 года. Vol. 376. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2023. – P. 01100. – DOI 10.1051/e3sconf/202337601100. – EDN RZMXLE.

## References

1. Forbes: Scientists named industries with an acute shortage of qualified personnel : online publication. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/494317-ucenye-nazvali-otrasli-promyslennosti-s-samoj-ostroj-nehvatkoj-kvalifirovannyh-kadrov> (date of reference: 15.10.2024).
2. XXII International Automotive Scientific Forum / Creation and development of an educational environment in the field of innovative vehicles. Formation of required professional competencies : Materials of MANF-2024. URL: <https://iasf.nami.ru/about/archive/> / (date of reference: 19.10.2024).
3. Prokhorov A., Lysachev M. The digital twin. Analysis, trends, world experience. The first edition, corrected and supplemented. – M.: Alliansprint LLC, 2020. – 401 p., ill.
4. A set of tools for creating a digital twin of a racing car of the Formula Student class / N. S. Zhidkikh, V. K. Epanchintsev, V. A. Lobkov [et al.] // Fundamental Applied and Applied Sciences today : Proceedings of the XXIX International Scientific and Practical Conference, Bengaluru, August 22-23, 2022. – Bengaluru: Pothi.com, 2022. – pp. 69-72. – EDN YCNDRA.
5. Development of an integrated project management system for a full cycle of creation of motor vehicles / A. S. Ovsyannikov, N. S. Zhidkikh, I. D. Samotin, A.V. Ivanova // Quality and life. – 2023. – № 2(38). – Pp. 30-35. – DOI 10.34214/2312-5209-2023-38-2-30-35. – EDN ZMAPLQ.
6. Project management model of motor vehicle development with consideration of built-in qualified concept requirements / N. Zhidkikh, A. Smolyaninov, Yu. Deniskin [et al.] // E3S Web of Conference-ences : International Scientific and Practical Conference “Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering” (ERSME-2023), Rostov-on-Don, Russia, March 01-03, 2023. Vol. 376. – Ros-tov-on-Don: EDP Sciences, 2023. – P. 01100. – DOI 10.1051/e3sconf/202337601100. – EDN RZMXLE.4. Piskunov N.S. Differential and integral calculus for technical colleges. Vol 2. Moscow, «Nauka», 1978, 575 sec.

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доц. кафедры  
строительной техники и инженерной  
механики имени профессора Н.А. Ульянова  
Р.А. Жилин  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 271-59-18  
e-mail: zhilinra@yandex.ru  
Студент дорожно-транспортного  
факультета  
Н.Т. Абдуллоев  
Россия, г. Воронеж  
e-mail: nematjon.dev.93@gmail.com*

*Voronezh State  
Technical University  
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) 271-59-18  
e-mail: zhilinra@yandex.ru  
Student of the Road and Transport  
Faculty  
N.T. Abdulloev  
Russia, Voronezh  
e-mail: nematjon.dev.93@gmail.com*

Р.А. Жилин, Н.Т. Абдуллоев

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

В статье рассмотрены перспективы развития дорожно-строительной техники. Дорожно-строительная техника играет ключевую роль в развитии инфраструктуры, обеспечивая строительство и поддержание дорожных сетей, мостов и других транспортных объектов. От качества и эффективности работы этой техники зависит не только удобство передвижения, но и безопасность на дорогах, а также экономическое развитие регионов.

**Ключевые слова:** бульдозеры, экскаваторы, автогрейдеры, асфальтоукладчики, катки, земляные работы, укладка асфальта, инновационные решения.

R.A. Zhilin, N.T. Abdulloev

## **PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ROAD-BUILDING EQUIPMENT**

The article discusses the prospects for the development of road-building equipment. Road construction equipment plays a key role in the development of infrastructure, enabling the construction and maintenance of road networks, bridges and other transport facilities. Not only the convenience of movement, but also road safety, as well as the economic development of the regions, depend on the quality and efficiency of this equipment.

**Keywords:** bulldozers, excavators, motor graders, pavers, rollers, earthworks, asphalt paving, innovative solutions.

История дорожно-строительной техники прошла долгий и интересный путь, начиная от ручного труда и простых инструментов до высоких технологий и механизмов, которые мы видим сегодня. Важнейшие достижения в этой области стали возможны благодаря техническому прогрессу, который повлиял на эффективность и качество дорожного строительства. С конца XIX века, с появлением двигателей внутреннего сгорания, началось массовое внедрение механических экскаваторов, бульдозеров и других машин. Эти устройства значительно упростили и ускорили процесс выполнения земляных работ, что сделало дорожное строительство более экономичным и доступным.

В последние десятилетия появление компьютерных технологий и автоматизации продолжает трансформировать индустрию. Внедрение современных технологий, таких как GPS и автоматические системы управления, позволяет достигать высокой точности и эффективности в выполнении работ. Например, асфальтоукладчики и автогрейдеры стали обладать функциями автоматической нивелировки, что сделало процесс укладки и выравнивания поверхности более совершенным.

В России существует проблема развития дорожного строительства и неуклонно растущий уровень автомобилизации людей усугубляет эту проблему и приводит к быстрому изнашиванию дорожных коммуникаций. Для эффективного развития должны быть предприняты соответствующие меры с упором на научно-технический прогресс, направленная на получение, распространение и использование новых знаний и технических решений для решения экономических, технологических, социальных и иных проблем в дорожном хозяйстве. Несмотря на это, в сфере регулирования инновационной деятельности появились немало проблем, присущи не только для дорожного хозяйства. Основные пользователи инновационных продуктов: федеральные и территориальные органы управления дорожным хозяйством, проектные и подрядные организации – неохотно применяют в дорожном строительстве, что плохо влияет на эффективности дорожных работ, времени и стоимости дорожного строительства. Внедрение перечень критических технологий дорожного хозяйства обеспечивает эффективное планирование инновационной деятельности на объектах строительства, ремонта и содержания дорог.

Бульдозеры являются одними из самых применяемых машин в дорожно-строительной технике. Они используются для расчистки площадок, перемещения грунта, создания насыпи и выемок. Бульдозеры оснащены большим передним отвалом, который позволяет выполнять широкий спектр работ. В зависимости от задачи используются различные типы отвалов: прямой, полусферический и угловой (рис. 1).



**Рис. 1.** Бульдозер с прямым отвалом

Экскаваторы играют важную роль в земляных работах. Они оснащены ковшом на длинной руке и может поворачиваться, двигаться по вертикали и горизонтали. Существуют различные виды экскаваторов, включая гусеничные, колесные, мини-экскаваторы и экскаваторы-погрузчики.

Автогрейдеры применяют для выравнивания поверхностей и придания им необходимого уровня. Они оборудованы длинным регулируемым ножом, который позволяет выполнять точные работы по нивелировке. Автогрейдеры применяются при строительстве дорог, аэродромов и других объектов, где требуется высокая точность в укладке и распределении материалов.

Асфальтоукладчики предназначены для укладки асфальтового покрытия на дорогах. Эти машины дают равномерное распределение асфальта и его уплотнение. Современные асфальтоукладчики оборудованы системами автоматического управления, что позволяет получать высокой точности и качества покрытия. Процесс укладки включает подачу асфальта, его распределение и уплотнение, а затем следует окончательная обработка катками.

Катки применяют для уплотнения грунта, асфальта и других материалов. Существуют различные типы катков: гладко-вальцовые, вибрационные, пневматические и комбинированные. Гладко-вальцовые катки применяются для окончательного уплотнения асфальта, вибрационные – для работы с грунтом и асфальтом, пневматические – для уплотнения слоев покрытия, требующих особой гладкости (рис. 2).

Погрузчики выполняют функции погрузочно-разгрузочных операций и перемещение материалов. Фронтальные погрузчики оборудованы ковшем и используются для перемещения сыпучих материалов, таких как песок, гравий и земля. Вилочные погрузчики применяются для подъема и транспортировки различных грузов, паллетов и контейнеров. Они широко используются на складах и строительных площадках [1].



Рис. 2. Катки дорожные

Современные технологии, такие как GPS и автоматические системы управления, намного повышают точность и эффективность дорожно-строительных работ. GPS позволяет операторам техники довольно точно следовать заданным координатам, а системы автоматического управления отображают процесс выполнения работ в режиме реального времени. Использование гибридных технологий становится более популярными в строительной технике при строительстве дорог. Это позволяет снижать выбросы вредных веществ и экономить топливо. Электрические и гибридные решения, такие как экскаваторы и погрузчики, показывают высокую производительность при уменьшении воздействия на окружающую среду. Современное ПО и телематика позволяют видеть состояние и работу дорожно-строительной техники в режиме реального времени. Это включает мониторинг технического состояния, отслеживание местоположения и планирование технического обслуживания. Такие системы помогают избежать поломки и повышать эффективность использования техники. Эффективное управление парком дорожно-строительной техники включает планирование, мониторинг и оптимизацию использования машин. Это позволяет снизить затраты на топливо и техническое обслуживание, повысить производительность и избежать простоев. Использование специализированного ПО для управления парком техники позволяет автоматизировать процессы и принимать обоснованные решения (рис. 3).

Дорожно-строительная техника оказывает плохое воздействие на окружающую среду. Например, выбросы вредных веществ, шумовое загрязнение, а также влияние на почву и растительность. Современные технологии позволяют снизить это воздействие за счет использования экологически чистых материалов и технологий, а также применения техники с низким уровнем выбросов. Энергосбережение и снижение выбросов являются важными направлениями развития при использовании дорожно-строительной техники. Использование гибридных и электрических машин, а также эффективных двигателей и систем рециркуляции позволяет намного снизить расход топлива и выбросы вредных веществ. Также важна правильное обслуживание техники для достижения большей эффективности [2].



**Рис. 3.** Взаимосвязь дорожного строительства с другими производственными отраслями

Переработка и утилизация дорожно-строительной техники требуют соблюдения экологических норм. Старые и отслужившие свой срок машины должны правильно утилизироваться или перерабатываться. Это включает демонтаж, сортировку и переработку металлических и других материалов. Важно также помнить возможность повторного использования отдельных деталей и узлов техники.

Развитие автономных машин является одним из ключевых направлений дорожно-строительной техники. Автономные экскаваторы, бульдозеры и погрузчики способны выполнять задачи без участия человека, что позволяет повышать безопасность и эффективность работ. Такие машины оборудованы системой датчиков и искусственным интеллектом, что позволяет им принимать решения самостоятельно и адаптироваться к условиям работы. Использование новых материалов в строительной технике повышают прочность и долговечность дорожных покрытий. Это включает применение композитных материалов, инновационных асфальтов и бетонов с улучшенными характеристиками. Такие материалы позволяют снизить затраты на ремонт и эксплуатацию дорог, а также повысить их устойчивость к суровым условиям [3].

Искусственный интеллект и машинное обучение приобрели все большее применение в дорожно-строительной технике. Эти технологии позволяют анализировать большие объемы данных, упростить процессы и предупреждать возможные поломки техники. Применение ИИ и машинного обучения позволяет намного повысить эффективность дорожно-строительных работ. Современные технологии позволяют значительно повысить надежность и качество выполнения работ. Важно продолжать вкладывать в развитие и обновление техники, а также внедрять передовые технологии для обеспечения устойчивого развития.

В результате внедрения инновационной деятельности дорожного хозяйства, ожидается повышение транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог, увеличение межремонтных сроков, повышение безопасности дорожного движения, сокращение затрат на строительство, реконструкцию, ремонт и содержание автомобильных дорог и искусственных сооружений за счет использования прогрессивных дорожно-строительных материалов, ресурсо- и энергосберегающих технологий, использование эффективных средств инженерного оборудования и обустройства дорог, современных информационных технологий и систем связи, обеспечения действующих требований дорожной экологии [4].

При выборе и использовании дорожно-строительной техники надо учитывать множество аспектов, включая специфику проекта, условия работы, экономические и экологические аспекты. Важно тщательно анализировать и планировать, чтобы выбрать подходящую технику для конкретных задач. Также необходимо уделять внимание постоянному обслуживанию и обучению персонала для обеспечения безопасной работы. Повышение экологической безопасности дорожного хозяйства. Внимание уделяется задаче повышения экологической защищенности существующих автомобильных дорог общего пользования с высокой проходимостью на территории населенных пунктов [5].

#### Библиографический список

1. Дорожно-строительные машины – <https://septikexpert.com/ochistnye-sooruzheniya/septiki/dorozhno-stroitel'naya-tehnika-vidy-primenenie-i-innovaczi/>
2. Инфраструктурные проекты в сфере строительства – <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/infrastrukturnye-proekty-v-sfere-dorozhnogo-stroitelstva-obzor-i-perspektivy-razvitiya/>
3. Ханина И.В., Иванова Л.Б. Инновации в дорожной отрасли: проблемы и перспективы // Вестник ИрГТУ. 2012. Вып. 12., стр. 281-285.
4. Боброва Т.В. Техничко-экономическое обоснование производства дорожно-строительных работ в зимнее время: Учеб. Пособие - Омскб: Изд-во СибАДИ, 2000. - 83 с.
5. Борисова Н.И. / Градостроительное проектирование и экологическое регулирование / В сборнике: Энергоэффективность, ресурсосбережение и природопользование в городском хозяйстве и строительстве: экономика и управление. Материалы III Международной научно-технической конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации; Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. 2016. С. 203-208.

#### References

1. Road construction machines – <https://septikexpert.com/ochistnye-sooruzheniya/septiki/dorozhno-stroitel'naya-tehnika-vidy-primenenie-i-innovaczi/>
2. Infrastructure projects in the field of construction – <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/infrastrukturnye-proekty-v-sfere-dorozhnogo-stroitelstva-obzor-i-perspektivy-razvitiya/>
3. Khanina I.V., Ivanova L.B. Innovations in the Road Industry: Problems and Prospects // Bulletin of ISTU. 2012. Iss. 12., pp. 281-285.
4. Bobrova T.V. Feasibility study of the production of road construction works in winter time. Manual - Omsk6: SibADI Publishing House, 2000. - 83 p.
5. Borisova N.I. / Urban Planning and Environmental Regulation / In the collection: Energy Efficiency, Resource Saving and Nature Management in Urban Economy and Construction: Economics and Management. Proceedings of the III International Scientific and Technical Conference. Ministry of Education and Science of the Russian Federation; Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. 2016. Pp. 203-208.

*Тверской государственной  
технической 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 Ю.Н. Павлов  
Канд. техн. наук, доцент кафедры  
строительных и дорожных машин  
и оборудования Д.Г. Масленников  
Ст. преп. кафедры строительных  
и дорожных машин и оборудования  
В.А. Беляков  
Аспирант кафедры строительных  
и дорожных машин и оборудования  
Ф.А. Соколов  
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 Yu.N. Pavlov  
Cand. of Tech. Sciences, Associate prof.  
of the chair of construction and road machinery  
and equipment D.G. Maslennikov  
Chief lecturer of the chair of construction  
and road machinery and equipment  
V.A. Belyakov  
Postgraduate student of the chair  
of construction and road machinery  
and equipment F.A. Sokolov  
Russia, Tver, tel. +7(4822) 78-55-19, e-mail:  
avkondr@ya.ru*

А.В. Кондратьев, Ю.Н. Павлов, Д.Г. Масленников, В.А. Беляков, Ф.А. Соколов

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ БАРАБАННОГО ГРОХОТА**

Предложена новая конструкция барабанного грохота, снабженная шнековым интенсификатором и очистительным устройством. Обосновывается повышение эффективности фракционирования каменных материалов за счет увеличения текущей рабочей площади сита. Планируется увеличение производительности грохота благодаря принудительному продвижению компонентов смеси лопастями шнекового интенсификатора. Для очистки промежутков между прутками от застрявших там камней грохот снабжен очистительным зубчатым валом.

**Ключевые слова:** Барабанный грохот, цилиндрическое сито, очистительное устройство, зубья, прутки, камни, шнековый интенсификатор, лопасти.

A.V. Kondratiev, Yu.N. Pavlov, D.G. Maslennikov, V.A. Belyakov, F.A. Sokolov

## **IMPROVEMENT OF TROMMEL SCREEN DESIGN**

A new design of a trommel screen equipped with a screw intensifier and a cleaning device is proposed. It is substantiated the increase in the efficiency of fractionation of stone materials due to the increase of the current working area of the screen. It is planned to increase the productivity of the screen due to the forced advancement of the mixture components by the blades of the screw intensifier. To clean the gaps between the bars from stones stuck there, the screen is equipped with a cleaning toothed shaft.

**Keywords:** Trommel screen, cylindrical screen, cleaning device, teeth, bars, stones, screw intensifier, blades.

В горноперерабатывающей промышленности и на предприятиях по производству нерудных строительных материалов для фракционирования компонентов сыпучих смесей достаточно широко применяются барабанные грохоты [1]. Использование данных разделительных устройств обусловлено такими преимуществами как медленное и равномерное вращение цилиндрического сита, отсутствие толчков и вибраций при работе по сравнению с качающимися и вибрационными решетками. Благодаря перечисленным достоинствам барабанные классификаторы можно устанавливать на шасси передвижных дорожно-строительных машин и на верхних этажах обогатительных предприятий. Основным недостатком барабанных грохотов является крайне низкое текущее значение задействованной рабочей зоны просеивающей поверхности, которая составляет всего 12...20% от общей площади цилиндрического сита [2]. Поэтому эффективность грохочения на них в среднем составляет 60% против 90...98%, например, на виброгрохотах. В связи с этим была поставлена задача по совершенствованию конструкции барабанного грохота за счет изыскания технических решений по увеличению площади просеивающей поверхности сита с целью повышения эффективности и производительности разделительного процесса.

На основании анализа работы барабанных грохотов и изучения патентной информации была предложена конструкция цилиндрического сита, внутри которого установлен шнековый интенсификатор, который одновременно выполняет функции как по распределению материала по ширине поверхности сита, так и по его транспортированию вдоль барабанного грохота (рис.) [3]. Для предотвращения перекрытия просеивающих отверстий в сите застрявшими там твердыми включениями барабанный грохот снабжен очистительным устройством [4].

Барабанный грохот выполнен из набора продольных прутков 1, связанных между собой поперечными обечайками 2. Внутри цилиндрического сита размещен вал 3 с двойной шнековой навивкой 4, на каждой из которых установлены в шахматном порядке лопасти 5 с определенным шагом. Решето установлено на опорных роликах 6 с наклоном к горизонту под углом  $\alpha = 5^\circ \dots 8^\circ$  в сторону транспортирования материала. У приемной части устройства расположен загрузочный лоток 7, а в конце сита разгрузочный бункер 8. В верхней части барабана снаружи цилиндрического сита установлено очистительное устройство 9, состоящее из вала 10 с зубьями 11. При этом зубья 11 вала 10 находятся в зацеплении с продольными прутками 1, т.е., вал 10 расположен вплотную к внешней поверхности цилиндрического сита так, что зубья 11 входят в просеивающие отверстия на всю их глубину. Шаг зубьев 11 вала 10 равен шагу отверстий между прутками 1.

Барабанный классификатор работает следующим образом. Исходный материал (например, гравий или щебень) с загрузочного лотка 7 подается внутрь вращающегося барабана на просеивающую поверхность продольных прутков 1. При этом вал 3, вращаясь в противоположную сторону относительно вращения цилиндрического сита, своими лопастями 5 распределяет материал по всей нижней просеивающей поверхности барабана и одновременно перемещает компоненты смеси в сторону выгрузки. Расположение лопастей 5 на шнековых спиралях 4 в шахматном порядке с определенным шагом (например, равным ширине лопасти) обеспечивает поочередное захватывание материала из зоны его скопления вдоль всей поверхности решета. Такое воздействие на материал приводит к равномерному его распределению по всей нижней части сита, увеличивая ее рабочую поверхность в 2 - 3 раза. Вследствие этого мелкая фракция будет ускоренно выделяться из каменистой массы, просеиваясь между прутками 1, а крупная фракция, пройдя по всей длине грохота, будет выгружаться в бункер 8.

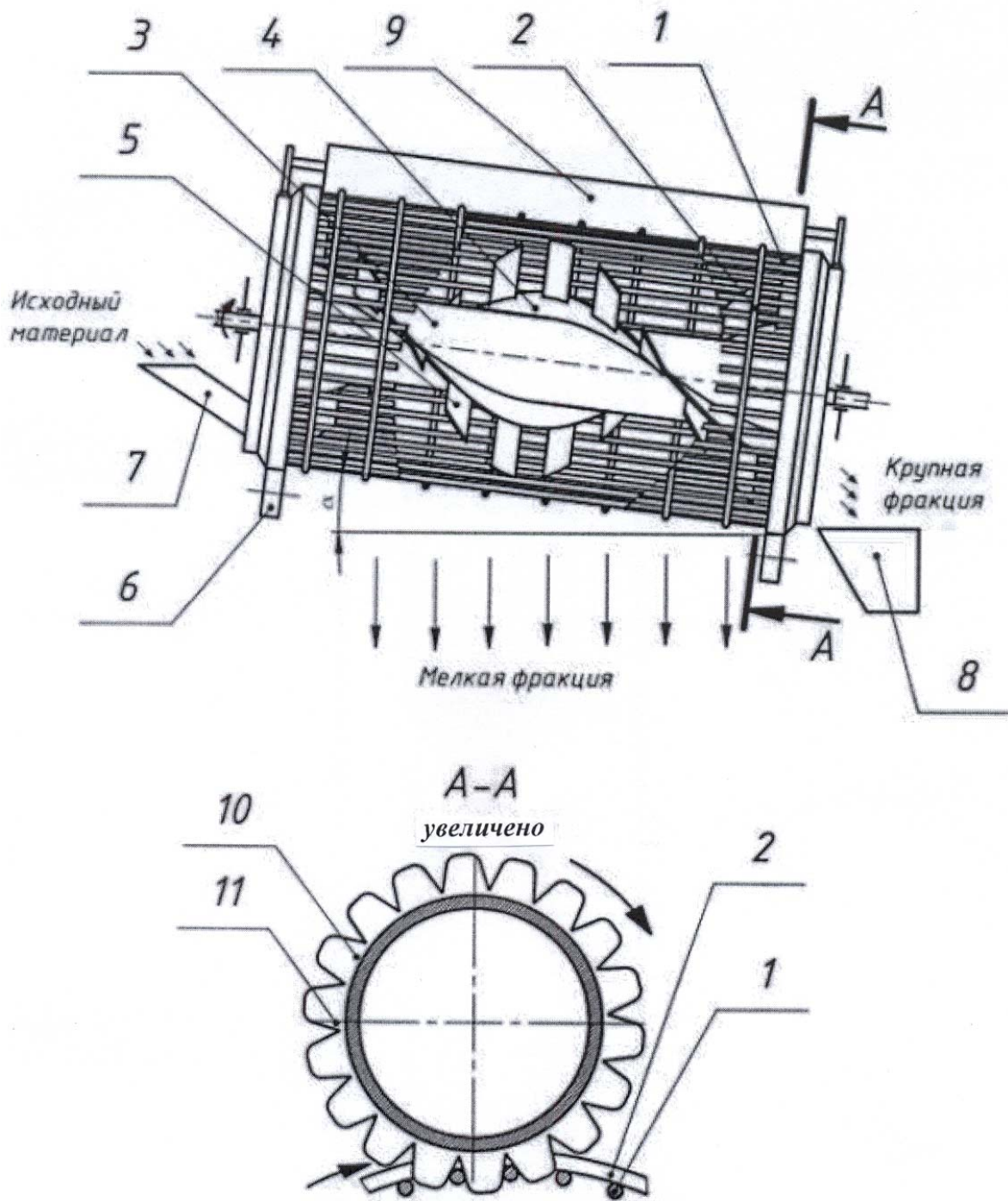


Рис. Конструктивная схема барабанного грохота

Выполнение лопастей 5 из упругого эластичного материала, например, из резиновой транспортной ленты, предотвращает заклинивание твердых включений между движущимися навстречу друг другу поверхностями сита и лопастями 5. Воздействие лопастей 5 очистительного устройства на разделяемую смесь неизбежно приведет к учащению случаев застревания зерен материала в просеивающих отверстиях грохота. Поэтому данное негативное явление нивелируется с помощью очистительного устройства 9, которое своими зубьями 11 постоянно выдавливает застрявшие твердые включения из отверстий сита внутрь барабана. Это, в свою очередь, обеспечивает предотвращение затемнения площади «живого» сечения барабанной сортировки.

Для предупреждения поломки очистительного устройства 9 зубья 11 вала 10 выполнены из упругоэластичного материала (например, резина или полиуретан), вследствие чего зуб 9 будет деформироваться в ситуации, когда зерно камня крепко застряло в просеивающем отверстии. Наряду с этим материал зубьев 11 при деформации способствует выталкиванию застрявшего в промежутке между прутками 1 твердого включения за счет переменного направления вектора выталкивающей силы со стороны упругоэластичного зуба 11 при вращении вала 10.

Таким образом, представленная конструкция барабанного грохота, оснащенная шнековым интенсификатором, позволит существенно повысить эффективность просеивания мелкой фракции за счет большей текущей площади просеивающей поверхности сита. В то же время принудительное движение материала по решетке с помощью лопастей шнекового вала наряду с наклоном барабанного сита обеспечат увеличение пропускной способности грохота, повышая его производительность. Использование же очистительного устройства обеспечит надежность протекания процесса фракционирования сыпучих смесей на барабанных грохотах. Модернизированная конструкция барабанного грохота в виду увеличения результативности своей работы может найти более широкое применение на дорожно-строительной технике для сортировки щебня и гравия.

#### Библиографический список

1. Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет: учебник / Н.Я. Хархута, М.И. Капустин, В.П. Семенов, И.М. Эвентов. Л.: Машиностроение, 1976. 472 с.
2. Сидоренко П.М. Измельчение в химической промышленности. Москва: Химия, 1977. 368 с.
3. Пат. № 193461 Российская Федерация, МПК В07В1/18. Барабанный грохот / Кондратьев А.В., Майков К.М., Разумов Е.Б., Петров А.А., Казак А.С., Пугин А.М., Хомик Ю.Н., Чагин А.И., заявитель и патентообладатель Тверской государственный технический университет. - № 2019127836; заявл. 03.09.2019, опубл. 30.10.2019, Бюл. № 31.
4. Пат. № 99359 Российская Федерация, МПК В07В1/46. Устройство для просеивания сыпучих материалов / А.В. Кондратьев, О.В. Кузечкин, Б.А. Виноградов, заявитель и патентообладатель Тверской государственный технический университет. - № 2010124474/03, заявл. 15.06.10; опубл. 20.11.2010, Бюл. № 32.

#### References

1. Road vehicles. Theory, design and calculation: textbook / N.Ya. Kharkhuta, M.I. Kapustin, V.P. Semenov, I.M. Eventov. L.: Mechanical Engineering, 1976. 472 p.
2. Sidorenko P.M. Grinding in the chemical industry. Moscow: Khimiya, 1977. 368 p.
3. Pat. 193461 Russian Federation, IPC V07B1/18. Drum Screen / Kondratiev A.V., Maikov K.M., Razumov E.B., Petrov A.A., Kazak A.S., Pugin A.M., Khomik Yu.N., Chagin A.I., applicant and patent holder Tver State Technical University. – No. 2019127836; application 03.09.2019, publ. 30.10.2019, Issue No. 31.
4. Pat. 99359 Russian Federation, IPC B07B1/46. A.V. Kondratiev, O.V. Kuzechkin, B.A. Vinogradov, applicant and patent holder Tver State Technical University. – No. 2010124474/03, application. 15.06.10; publ. 20.11.2010, Issue No. 32.

*Тверской государственной технической  
университет*

*Канд. техн. наук, доцент кафедры строи-  
тельных и дорожных машин и оборудова-  
ния Д.Г. Масленников*

*Канд. техн. наук, доцент кафедры строи-  
тельных и дорожных машин и оборудова-  
ния С.М. Кочканян*

*Канд. техн. наук, доцент кафедры строи-  
тельных и дорожных машин и оборудова-  
ния Ю.Н. Павлов*

*Д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой  
строительных и дорожных машин и обору-  
дования А.В. Кондратьев*

*Россия, г. Тверь, тел. +7(4822) 78-55-19,  
e-mail: avkondr@ya.ru*

*Tver State*

*Technical University*

*Cand. of Tech. Sciences, Associate prof. of the  
chair of construction and road machinery and  
equipment D.G. Maslennikov*

*Cand. of Tech. Sciences, Associate prof. of the  
chair of construction and road machinery and  
equipment S.M. Kochkanian*

*Cand. of Tech. Sciences, Associate prof. of the  
chair of construction and road machinery and  
equipment Yu.N. Pavlov*

*Dr. Sci. Tech., prof., head of the chair of con-  
struction and road machinery and equipment  
A.V. Kondratiev*

*Russia, Tver, tel. +7(4822) 78-55-19,  
e-mail: avkondr@ya.ru*

Д.Г. Масленников, С.М. Кочканян, Ю.Н. Павлов, А.В. Кондратьев

### **БУЛЬДОЗЕР С ПЛАНИРОВОЧНЫМ ОТВАЛОМ**

В статье рассмотрена технология работы бульдозера в качестве планировщика грунтовых поверхностей. Выявлены основные особенности этого процесса. Предложена конструкция планировочного отвала, позволяющая выполнять как основные бульдозерные, так и планировочные работы. При этом увеличивается производительность и качество работ, упрощается управление рабочим органом.

**Ключевые слова:** бульдозер, передний отвал, задний отвал, призма волочения, планировочные работы, производительность, качество, управление.

D.G. Maslennikov, S.M. Kochkanian, Yu.N. Pavlov, A.V. Kondratiev

### **BULLDOZER WITH A LEVELING BLADE**

The article discusses the technology of bulldozer operation as a leveler of soil surfaces. The main features of this process are revealed. The design of the leveling blade is proposed, which makes it possible to perform both basic bulldozer and leveling works. At the same time, productivity and quality of work increase, and the control of the working body is simplified.

**Keywords:** bulldozer, front blade, rear blade, drawing prism, leveling work, productivity, quality, control.

Известно, что планировочные возможности бульдозера весьма ограничены. Он может применяться только при грубой, приблизительной планировке строительных площадок и насыпей, обратной засыпке траншей [1]. Это объясняется короткой опорной базой гусениц бульдозера и рабочим органом (отвалом), вынесенным вперед за пределы опорной базы.

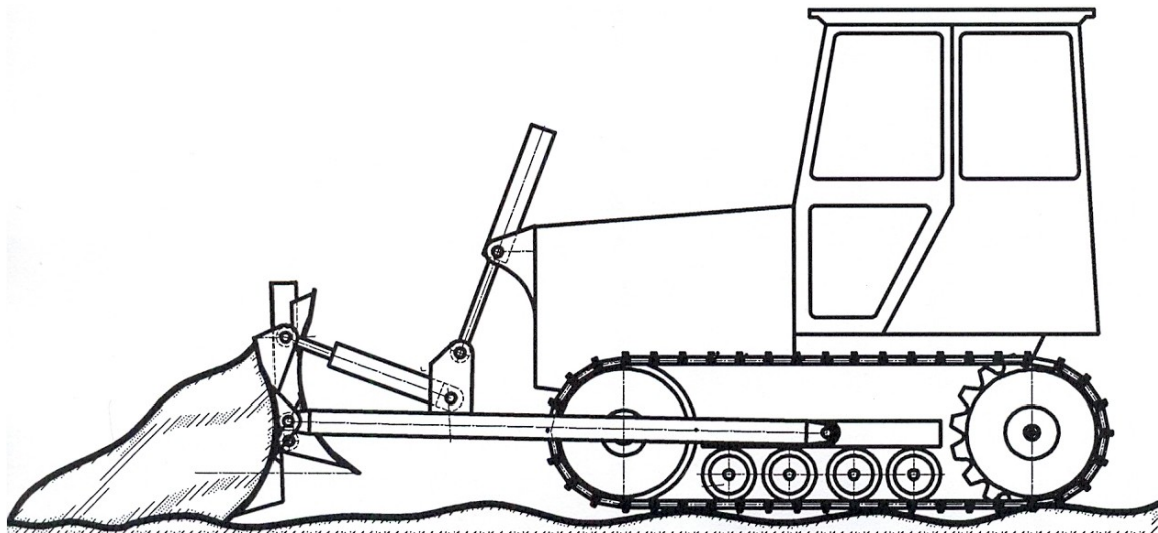
Для повышения качества и производительности планировочных работ японская фирма «Komatsu LTD» выпустила на рынок небольшой гусеничный специализированный бульдозер D21A-5 с разравнивающим отвалом [2]. У машины не только полностью сохранены основные функции бульдозерного отвала (подъем-опускание, наклоны вперед-назад), но и добавлены новые. Отвал имеет две рабочие фронтальные поверхности – переднюю и заднюю и выполнен двояковогнутым. Поэтому рабочий ход машины может осуществляться как вперед, так и назад. Для обеспечения заднего рабочего хода отвал отодвинут еще дальше от трактора, чем обычный, для создания пространства для формирования призмы волочения грунта. Для этого же толкающие брусья и поперечная балка, связывающая их, подняты в верхнюю зону отвала.

Двояковогнутые рабочие поверхности отвала не являются оптимальными, поскольку при работе машины возможно увеличение усилия резания и пересыпание грунта через отвал. Однако данный недостаток может компенсироваться оперативной регулировкой угла резания, т.е. угла наклона отвала вперед-назад. При этом для снижения усилия резания надо уменьшить угол резания отвала к горизонту, а для исключения пересыпания грунта через отвал – наоборот увеличить. Вследствие этого бульдозер сначала выполняет резание грунта и набор призмы волочения при небольших (оптимальных) углах резания отвала, а затем, после набора призмы волочения, угол резания отвала увеличивают для предотвращения пересыпания грунта через верхнюю кромку отвала. К тому же, большой угол резания не дает отвалу зарываться в грунт.

Недостатком такой конструкции разравнивающего бульдозерного отвала является непрерывное ручное управление рабочим органом не только по углу подъема толкающих брусьев вверх-вниз, но и по углу резания отвала вперед-назад, что утомляет машиниста, снижает качество планировочных работ и увеличивает время выравнивания поверхности.

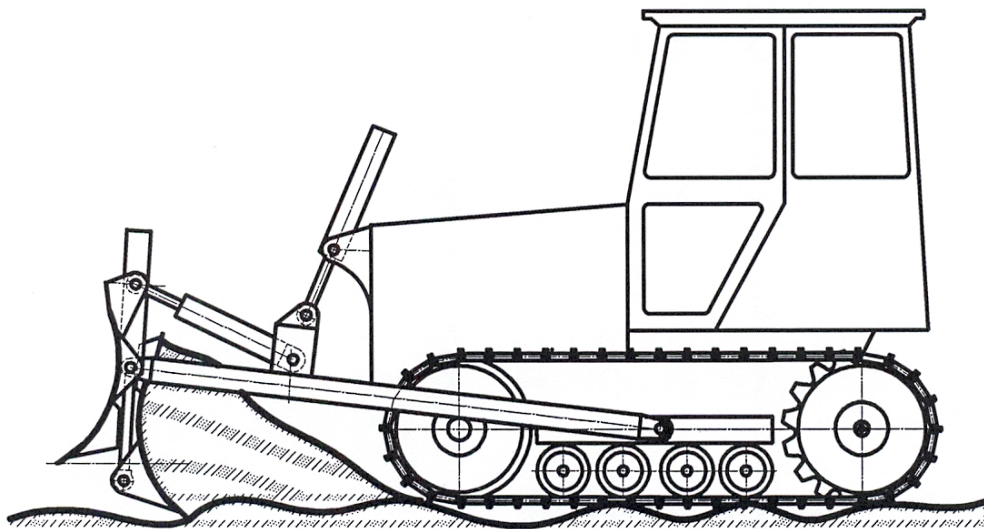
С целью устранения указанных недостатков был предложен бульдозерный планировочный отвал, имеющий две фронтальные рабочие поверхности – переднюю и заднюю, которые выполнены в виде двух отдельных конструкций подвижно и компактно соединенных друг с другом (рис.1-3). Наряду с этим, оба отвала развернуты в противоположные стороны и исполнены по классической схеме с оптимальными углами резания режущих кромок и радиусами вогнутости лобовых листов. Передний отвал имеет несущую силовую конструкцию, соединенную с толкающими брусьями и гидроцилиндрами управления вверх-вниз и вперед-назад, а задний тыльной стороной подвижно закреплен в направляющих на тыльной стороне переднего. Пространственную механическую прочность более легкого заднего отвала дополняет жесткая конструкция переднего отвала. Перемещение заднего отвала относительно переднего осуществляется по направляющим с помощью двух гидроцилиндров, расположенных симметрично по краям переднего отвала. Технология работы бульдозера с представленным рабочим органом может последовательно осуществляться по трем схемам.

Сначала, при движении бульдозера вперед, задний отвал поднят над передним (рис.1). Передний отвал опущен в рабочее положение посредством толкающих брусьев с помощью гидроцилиндров и установлен на заданную глубину резания. При необходимости (в зависимости от нагрузки и др. факторов) машинист может выставить передний рабочий отвал и по углу резания вперед-назад с помощью другой пары гидроцилиндров управления. Бульдозер постепенно набирает призму волочения и транспортирует грунт, периодически выглубляя и заглубляя отвал в зависимости от величины сопротивления движению машины. Получаемая при этом обработанная поверхность имеет гребенчатый (ступенчатый) вид.



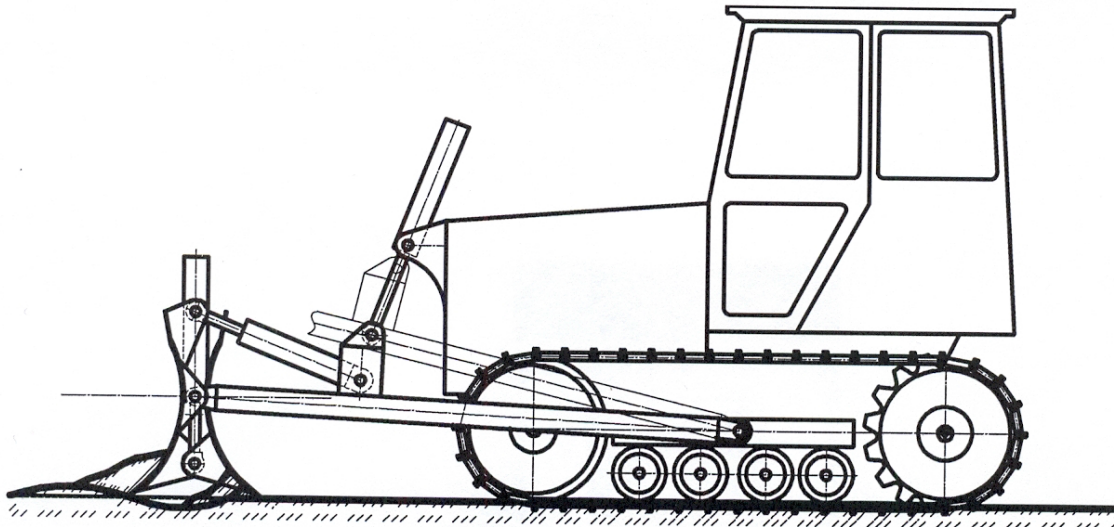
**Рис. 1.** Предварительная планировка поверхности движением бульдозера вперед

Затем при обратном движении бульдозера задний отвал опущен вниз, а передний поднят вверх (рис.2). Поскольку в этом случае рабочий орган перемещается за машиной, то движение бульдозера становится более устойчивым и стабильным, чем при переднем ходе. На данном этапе производится дальнейшее выравнивание поверхности обрабатываемого участка.



**Рис. 2.** Предварительная планировка поверхности движением бульдозера назад

Для работы бульдозера в планировочном режиме, задний отвал устанавливается на одном горизонтальном уровне с передним (рис.3). Вследствие этого, режущие кромки обоих отвалов образуют горизонтальную опорную плоскость, не позволяющую рабочему органу произвольно заглубляться, как при движении вперед, так и назад. Такое положение отвала обеспечивает выравнивание обрабатываемой поверхности за счет срезания выступов и засыпания впадин грунтом. Кроме того, при работе машины по третьей схеме гидроцилиндры подъема-опускания толкающих брусьев и угла наклона отвала вперед-назад включены в режим плавающего, самоустанавливающегося положения, а гидроцилиндры взаимного перемещения отвалов заперты. Это, в свою очередь, существенно упрощает управление бульдозером, выполняющим завершающий этап планировочных работ.



**Рис. 3.** Окончательное выравнивание поверхности движением бульдозера вперед или назад

Таким образом, предлагаемая конструкция сдвоенного отвала позволяет существенно повысить производительность и качество планировочных работ выполняемых бульдозером. Кроме того, данная конструкция рабочего органа дает возможность выставлять необходимую фиксированную глубину резания рабочего отвала за счет поднятия на необходимую высоту нерабочего отвала, что заметно упрощает управление бульдозерным оборудованием.

#### Библиографический список

1. Шестопапов К.К. Строительные и дорожные машины: учеб. пособие для вузов. Москва: Академия, 2008. 384 с.
2. Материалы и техническая характеристика бульдозера с разравнивающим отвалом Komatsu D21A-5. Токио: Япония, 2010. 4 с.

#### References

1. Shestopalov K.K. Construction and road machines: textbook. manual for universities. Moscow: Academy, 2008. 384 p.
2. Materials and technical characteristics of the bulldozer with a leveling blade Komatsu D21A-5. Tokyo: Japan, 2010. 4 p.

УДК 621.878.62 (27)

*Воронежский государственный  
технический университет  
Д-р. техн. наук, проф. кафедры строительной  
техники и инженерной механики В.А. Нилов,  
д-р. техн. наук, проф. Жулай В.А.,  
студент группы АТ-221 Горбачев А.Е.  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 277-01-29  
e-mail: vladnil1014@mail.ru*

*Voronezh State University of Architecture and  
Civil Engineering  
Dr. Sci. Tech., prof., building engineering and  
engineering mechanics Dept V.A. Nilov, Dr. Sci.  
Tech., prof., Zhulay V.A,  
student of the AT-221 group Gorbachev A.E.  
Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 277-01-29  
e-mail: vladnil1014@mail.ru*

В.А. Нилов, В.А. Жулай, А.Е. Горбачев

### **К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЯЕМОГО ВАЛЬЦА ТРЕХВАЛЬЦОВОГО ДОРОЖНОГО КАТКА**

В статье рассмотрен вопрос расчета основных параметров прогрессивных трехвальцовых дорожных катков на базе серийных двухвальцовых катков тандемного типа.

**Ключевые слова:** управляемый валец, дорожный каток, вертикальные нагрузки.

V.A. Nilov, V.A. Zhulay, A.E. Gorbachev

### **TO CALCULATE CONTROLLED ROLLER PARAMETERS HREE-ROAD ROAD ROLLER**

The article discusses the issue of calculating the main parameters of progressive three-drum road rollers based on serial tandem-type two-drum rollers.

**Keywords:** steerable drum, road roller, vertical loads.

В работах [1-3] обоснована необходимость и целесообразность создания трехвальцовых дорожных катков ввиду их высокой производительности, возможности *управлять вертикальными нагрузками* на все вальцы катка, а также экономии веса катка и мощности его двигателя.

Принципиальная конструкция трехвальцового дорожного катка защищена патентами РФ [4, 5]. Трехвальцовый дорожный каток (рис. 1) представляет серийный двухвальцовый каток (например, каток ДУ-84), к секции 2, которого присоединен управляемый валец 3, управляемый гидроцилиндрами 4. Конструкция катка позволяет изменять вертикальные нагрузки на вальцы за счет подъема или опускания (частичного или полного) дополнительного вальца 3. Конструкцию дополнительной секции 3 целесообразно сохранить такой же, как у секции 2 серийного катка, а вес управляемого вальца 3 (за счет балласта) уменьшить и принять в соответствии с рекомендациями работы [6].

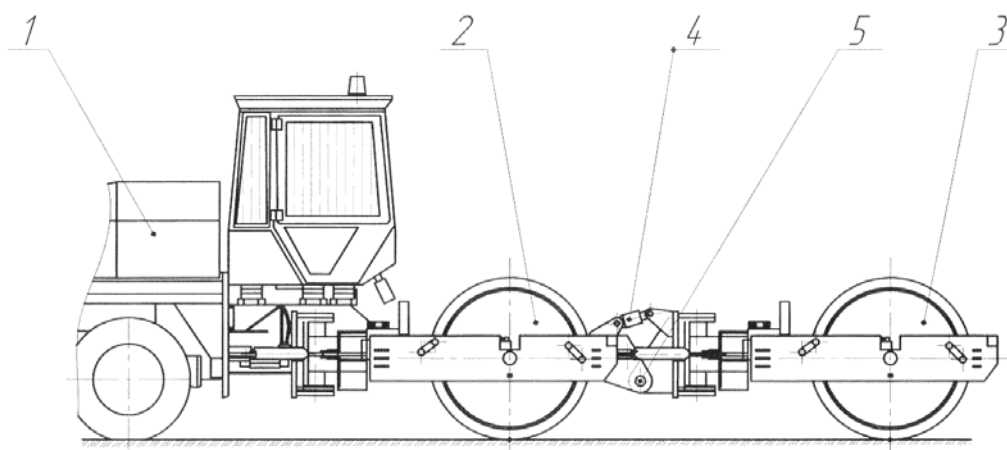


Рис. 1. Каток трехвальцовый с управляемым вальцем

Подъем и опускание управляемого вальца 3 приводом 4 обеспечивает глубокое регулирование вертикальной нагрузки на вальцы катка (как в сторону уменьшения, так и в направлении увеличения статической нагрузки на вальцы) в соответствии с изменением прочности уплотняемой поверхности в пределах  $0,3G$  до  $1,1G$  ( $G$  – вес серийного двухвальцового катка) [3], таблица. Число проходов катка при любом положении управляемой секции 3 конструкцией не ограничено и регламентируется только технологией производства работ [6]. В таблице показано изменение вертикальных нагрузок на вальцы катка за счет манипулирования управляемым вальцем 3.

Таблица

Изменение вертикальных нагрузок на вальцы катка  
(базовый каток ДУ-84, вес 14 кН)

| Проход | Направление движения          | Вертикальная нагрузка                       |
|--------|-------------------------------|---|
| 1      | Вперед<br>базовый каток ДУ-84 | От $0,3G$ до $0,5G$<br>От 42 кН до 70 кН    |
| 2      | Назад<br>базовый каток ДУ-84  | От $0,75G$ до $0,55G$<br>От 105 кН до 77 кН |
| 3      | Вперед<br>базовый каток ДУ-84 | От $1,1G$ до $0,2G$<br>От 154 кН до 28 кН   |

Величина вертикальных нагрузок на мосты трехвальцового катка зависит не только от степени вывешивания управляемого вальца (давление в гидроцилиндре 4, рис. 1), но и от веса управляемого вальца ( $\beta G$ ) и его вылета ( $\alpha L$ ) относительно секции 2 серийного катка.

На рис. 2 приведена схема сил, действующих на каток, когда гидроцилиндр подъема 4 находится в плавающем положении. В этом случае  $\alpha$  – увеличение базы между управляемым вальцем и серийным катком;  $\beta$  – коэффициент веса управляемого вальца относительно серийного катка;  $\gamma$  – коэффициент остаточного веса на левом вальце серийного катка (для предотвращения опрокидывания при вывешивании управляемого вальца), должно быть не менее  $0,1 \dots 0,15G$ , ( $G$  – вес серийного двухвальцового катка).

При этом вертикальные нагрузки на вальцы составляют:  $R_1=R_2=0,5G$ ,  $R_3=\beta G$ .

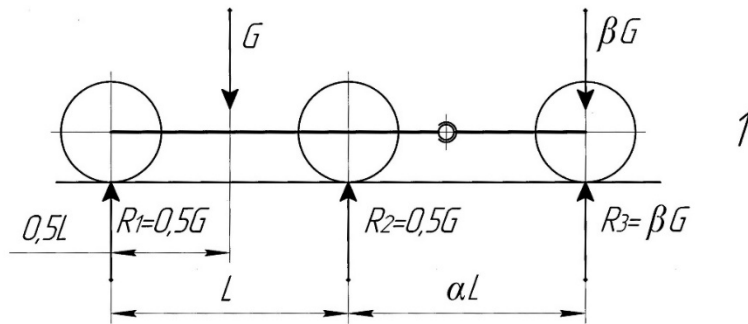


Рис. 2. Схема сил, действующих на каток

Вывешивание среднего нового катка приводит к перераспределению нагрузок на его вальцы таким образом, что вертикальные нагрузки на вальцы составляют:  $R_1 = G[1 - 0,5/(1 + \alpha)]$ ,  $R_2 = 0$ ,  $R_3 = G[0,5 + \beta(1 + \alpha)]/(1 + \alpha)$ .

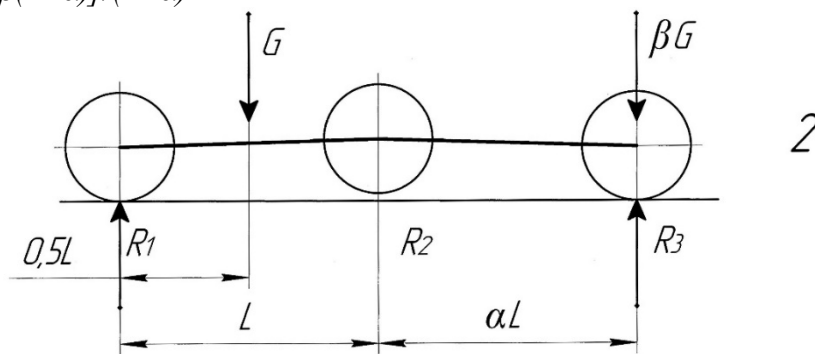


Рис. 3. Схема сил, действующих на каток при вывешивании среднего вальца

При вывешивании управляемого вальца 3 (рис. 1, 4) вертикальные нагрузки на вальцы техвальцового катка составляют:

$$R_1 = G(0,5 - \alpha\beta), R_3 = 0, R_2 = G[0,5 + \beta(1 + \alpha)].$$

При этом недопустимо полное вывешивание левого вальца серийного катка (рис. 1) поскольку в этом случае нарушается общее равновесие системы (каток серийный двухвальцовый и управляемый валец). Силовое воздействие управляемого вальца на каток серийный двухвальцовый зависит от его веса ( $\beta G$ ) и вылета ( $\alpha L$ ) относительно двухвальцового катка.

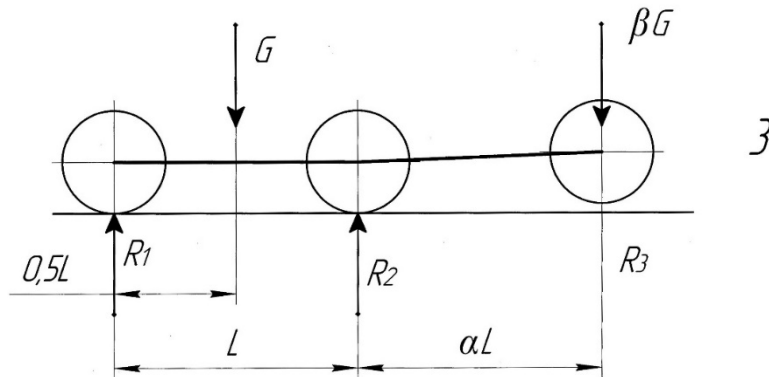


Рис. 4. Схема сил, действующих на каток при вывешивании управляемого вальца

Для нормальной и безопасной работы нового трехосного катка необходимо обеспечить в этом положении (рис. 4) неснижаемую вертикальную нагрузку на левый валец серийного катка не менее  $0,1 \dots 0,15G$ . Из этого условия вытекает соответствие между весом управляемого вальца ( $\beta$ ) и его вылетом, плечом ( $\alpha$ ), которое определяется соотношением:

$$\alpha\beta \leq 0,5-\gamma$$

где  $0,5$  – соотношение между вертикальными нагрузками на вальцы двухвальцового серийного катка.

Согласно полученным рекомендациям для серийного катка ДУ-84 при весе управляемого вальца  $0,3G$  его вылет может быть увеличен до  $1,33L$  ( $\alpha=1,33$ ). Такое увеличение вылета управляемого вальца обеспечивает его уверенный монтаж на серийном катке.

### Выводы

1. Установлены соотношения для рационального назначения параметров управляемого вальца для формирования трехвальцового катка на базе серийного катка двухвальцового тандемного типа и его безопасной работы.

2. Отмечена реальная возможность создания нового трехвальцового катка с минимальными затратами на базе серийного двухвальцового катка из его секций.

### Библиографический список

1. Федоров Е.В., Кретинин А.И., Ручкин Я.И. Исследование влияния количества вальцов катка на его производительность // Научно-технический журнал «Высокие технологии в строительном комплексе». 2019, № 2. – С 119 –124.

2. Нилов В.А., Жулай В.А., Федоров Е.В. Обоснование необходимости создания трехвальцовых дорожных катков / В.А. Нилов, В.А. Жулай, Е.В. Федоров, // Известия вузов. Строительство 2020. №4. С.13-16.

3. Нилов В.А., Жулай В.А., Федоров Е.В. Создание трехвальцовых дорожных катков // Строительные и дорожные машины. – 2021. - № 1 – С. 24-27.

4. Пат. 2729215 Российская Федерация, МПК E01C 19/26. Каток моторный трехвальцовый / В.А. Нилов, В.А. Жулай; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. № 2020101239; заявл. 10.01.2020; опубл. 05.08.2020, Бюл. № 22.

5. Пат. 2731808 Российская Федерация, МПК B62D 63/02. Способ управления вертикальными нагрузками на вальцы катка и устройство для его осуществления / В.А. Нилов, В.А. Жулай; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. № 2019114803; заявл. 14.05.2019; опубл. 08.09.2020, Бюл. № 25.

6. Дорожные катки: развитие, конструкция, расчет: учеб. пособие / В.И. Баловнев, С.Н. Иванченко, Р.Г. Данилов, А.В. Лещинский; под общ. ред. проф. В.И. Баловнева и проф. С.Н. Иванченко. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 216 с.

### References

1. Fedorov E.V., Kretinin A.I., Ruchkin Ya.I. Investigation of the influence of the number of roller rollers on its performance // Scientific and technical journal "High technologies in the construction complex". 2019, No. 2. – sec. 119 -124.

2. Nilov V.A., Zhulai V.A., Fedorov E.V. Justification of the need to create three-roll road rollers / V.A. Nilov, V.A. Zhulai, E.V. Fedorov, // Izvestiya vuzov. Construction 2020. No.4. sec. 13-16.

3. Nilov V.A., Zhulai V.A., Fedorov E.V. Creation of three-roll road rollers // Construction and road machines. – 2021. - No. 1 – sec. 24-27.

4. Pat. 2729215 Russian Federation, IPC E01C 19/26. Three-roller motor roller / V.A. Nilov, V.A. Zhulai; applicant and patent holder Voronezh State Technical University. No. 2020101239; application No. 10.01.2020; publ. 05.08.2020, Bul. No. 22.

5. Pat. 2731808 Russian Federation, IPC B62D 63/02. A method for controlling vertical loads on roller rollers and a device for its implementation / V.A. Nilov, V.A. Zhulai; applicant and patent holder Voronezh State Technical University. No. 2019114803; application dated 05/14/2019; publ. 09/08/2020, Issue No. 25.

6. Road rollers: development, design, calculation: study. manual / V.I. Balovnev, S.N. Ivanchenko, R.G. Danilov, A.V. Leshchinsky; under the general editorship of Prof. V.I. Balovnev and Prof. S.N. Ivanchenko. Khabarovsk: Publishing House of the Pacific State University, 2016. 216 sec.

УДК 625.1

*Российский университет транспорта  
канд. техн. наук, доц. «Наземные транспортно-технологические средства*

*И.В. Трошко*

*Россия, Москва*

*тел. +7(925)732-25-20*

*e-mail: troshko\_iv@mail.ru*

*Российский университет транспорта  
канд. техн. наук, доц. кафедры «Наземные транспортно-технологические средства»*

*М.Ю. Чалова*

*Россия, г. Москва, тел. +7(916)543-07-67*

*e-mail: margarita\_chalova@mail.ru*

*Russia University of Transport*

*D. Sc. (Engineerin) Prof. of the Department  
«Ground Transport and Technological*

*Means» I.V. Troshko*

*Russia, Moscow,*

*tel. +7(925)732-25-20*

*e-mail: troshko\_iv@mail.ru*

*Russian University of Transport*

*D. Sc. (Engineerin) Prof. of the Department  
«Ground Transport and Technological*

*Means» M.Y. Chalova*

*Russia, Moscow, tel. +7(916)543-07-67*

*e-mail: margarita\_chalova@mail.ru*

И.В. Трошко, М.Ю. Чалова

## **ПУТЕВОЙ ИНСТРУМЕНТОВ КАК ОСНОВА МАЛОЙ МЕХАНИЗАЦИИ ПРИ ТЕКУЩЕМ СОДЕРЖАНИИ ПОДКРАНОВЫХ РЕЛЬСОВЫХ ПУТЕЙ**

Эффективность работы козловых, башенных и порталных кранов во многом зависит от правильного монтажа и текущего содержания подкранового пути. По конструкции подкрановый путь аналогичен железнодорожному пути, поэтому для его текущего содержания можно применять путевой гидравлический инструмент. Работа путевым инструментом на подкрановых путях должны регламентироваться государственными стандартами.

**Ключевые слова:** подкрановый путь, путевой гидравлический инструмент, ресурс, надежность.

I.V. Troshko, M.Y. Chalova

## **TRAVEL TOOLS AS THE BASIS OF SMALL-SCALE MECHANIZATION WITH THE CURRENT CONTENT OF CRANE TRACKS**

The efficiency of gantry, tower and gantry cranes largely depends on the correct installation and current maintenance of the crane track. The crane track is similar in design to a railway track, so a track hydraulic tool can be used for its current maintenance. The operation of a track tool on crane tracks should be regulated by state standards.

**Keywords:** crane track, track hydraulic tool, resource, reliability.

Рельсовый путь, это не только путь, которые используются на железной дороге, большое количество подъёмно - транспортной техники используют, так называемый рельсовый путь (козловые, башенные, порталные краны). Устройство подкрановых путей - это комплексная задача, которая включает в себя ряд технологических операций, от правильного монтажа подкрановых путей зависит эффективность работы грузоподъемного оборудования.

Подкрановые пути (рис. 1) воспринимают основную нагрузку, от грузоподъемного оборудования во время его работы.



**Рис. 1.** Обустройство подкранового пути на рабочей площадке козлового крана

Перегрузочные комплексы и сфера строительства, в своем процессе постоянно, год за годом, увеличивает применение современной подъемно-транспортной техники. На российском рынке подъемно-транспортного оборудования сформировалась импортоориентированная модель, более 90% рынка составляет продукция зарубежных производителей:

- в структуре рынка подъемно-транспортного оборудования в 2023 г. объем импортных поставок превышал внутреннее производство в 7,8 раз, а сальдо торгового баланса было отрицательное и составляло 7,6 млн. шт.

- лучшие производственные показатели демонстрирует Центральный ФО с объемом выпуска продукции, составляющим 433,1 тыс. шт.

- лидером по импортным поставкам в 2023 г. является Китай (более 90%).

- в импорте наибольшую долю занимает сегмент low-priced с долей 64,2%, основные поставки сегмента из стран: Китай, Южная Корея, Беларусь. Сегмент high-priced представлен долей в 26,5% преимущественно из стран: Италия, Германия, Китай.

- большую часть продукции российских экспортеров покупает Казахстан (более 30%) [1].

Подготовка подкрановых путей задача, которая требует комплексного подхода, так как работа кранов зависит от большого количества факторов. Одним из главных факторов, влияющих на безопасное проведение работ, является состояние обустройства и текущего содержания подкранового пути.

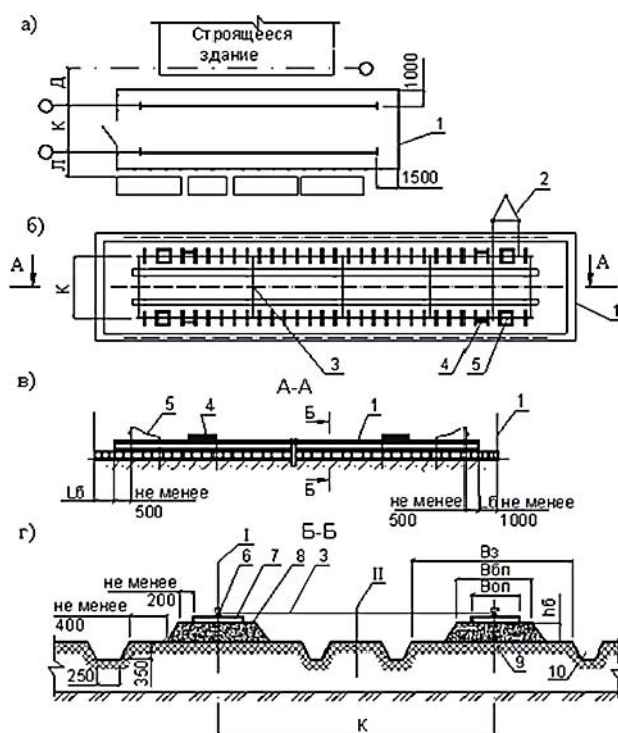
Как и в случае обустройства железнодорожных путей, так и в условиях эксплуатации грузоподъемных кранов возникают различные факторы, которые могут привести к аварийным ситуациям:

- статические и динамические нагрузки.
- неравномерная осадка фундаментов.
- деформации подкрановых конструкций.

Данные факторы могут привести к изменению геометрии подкрановых путей (прямолинейность), также может изменяться межрельсовый зазор и т.д. Для повышения эффективности обустройства подкрановых путей, проводилось множество научных изысканий.

В путевом хозяйстве одним из элементов ремонта и содержания верхнего строения пути есть средства малой механизации, которые являются основой для текущего содержания пути.

Наземный крановый путь включает нижнее строение, верхнее строение и путевое оборудование (рис.2), поэтому для текущего содержания, также можно применять путевой механизированный инструмент.



**Рис. 2.** План, продольный и поперечный профиль, основные конструктивные элементы и геометрические размеры наземного кранового пути

а) план кранового пути; б) схема расположения пути; в) продольный профиль кранового пути; г) поперечный профиль кранового пути

К – колея кранового пути; Л – расстояние до складированного груза; Д – расстояние от оси здания до оси направляющей кранового пути с учетом выступающих конструкций здания и габаритов крана; В<sub>з</sub> – ширина земляного полотна; В<sub>бп</sub> – ширина балластной призмы; В<sub>оп</sub> – длина опорного элемента (полушпала); h – высота балластного слоя под опорным элементом; Л<sub>б</sub> – плечо балластной призмы;

1 – ограждение; 2 – заземление; 3 – стяжка; 4 – отключающая линейка; 5 – тупиковые упоры; 6 – направляющая; 7 – опорный элемент (полушпала); 8 – балластная призма; 9 – насыпной грунт (земляное полотно); 10 – основной грунт площадки; 11 – водоотвод; 6, 7, 8 – верхнее строение кранового пути; 9, 10, 11 – нижнее строение кранового пути  
I – ось направляющей; II – ось кранового пути

Путевой инструмент является средством малой механизации, и, как и любое грузоподъемное оборудование, должен отвечать определенным требованиям, которые основаны на государственных стандартах:

- надежностью при применении;
- безопасным для рабочего при эксплуатации;
- иметь небольшой вес, так как переносится и устанавливается вручную;
- ремонтпригодным и т.д.

Рассмотрим существующие путевые инструменты, с использованием гидропривода, например, гидравлические домкраты; разгонщики стыковых зазоров и рихтовщики пути.

Железнодорожный путевой домкрат – инструмент, необходимый подъема рельсошпальной решетки и её элементов при выполнении путевых работ. Использование домкрата для подъема, также, как и на ж.д. пути, может, обеспечить доступ к различным деталям рельсового пути, что позволит произвести замену различных элементов креплений и т.д. на подкрановом пути [2].

Основным достоинствами гидравлических домкратов является большая грузоподъемность в сочетании с небольшим рабочим усилием. Помимо этого, гидравлические домкраты имеют высокий КПД, плавность хода, а также плавность и точность торможения.

Конструкция домкратов должна соответствовать требованиям: ГОСТ 13823-78 «Гидроприводы объемные. Насосы объемные и гидромоторы. Общие технические требования», ГОСТ 16514-96 «Гидроприводы объемные. Гидроцилиндры. Общие технические требования», ГОСТ 17411-91 «Гидроприводы объемные. Общие технические требования» и ГОСТ 16770-86 «Баки для объемных гидроприводов и смазочных систем. Общие технические требования».

Разгонщик стыковых рельсовых зазоров - железнодорожный путевой инструмент, необходимый для регулировки зазоров в рельсовых стыках с целью их приведения к нормативным значениям, иначе этот процесс называют разгонкой стыков. Разгонщики применяются при строительстве, ремонте и обслуживании железнодорожных и подкрановых путей [3].

Конструкция зажимного устройства должна обеспечивать надежное фиксирование разгонщика на рельсах с помощью клиньев зажимных и отсутствие повреждений рельсов и соответствовать требованиям: ГОСТ 13823-78 «Гидроприводы объемные. Насосы объемные и гидромоторы. Общие технические требования», ГОСТ 16514-96 «Гидроприводы объемные. Гидроцилиндры. Общие технические требования», ГОСТ 17411-91 «Гидроприводы объемные. Общие технические требования» и ГОСТ 16770-86 «Баки для объемных гидроприводов и смазочных систем. Общие технические требования».

Как и любой механизм, путевой гидравлический инструмент, имеет свой ресурс, который зависит от условий эксплуатации, от конструктивной надёжности, от правильного обслуживания и других требований. В статье представлена статистика отказов путевого инструмента с марта по июль (рис. 3).

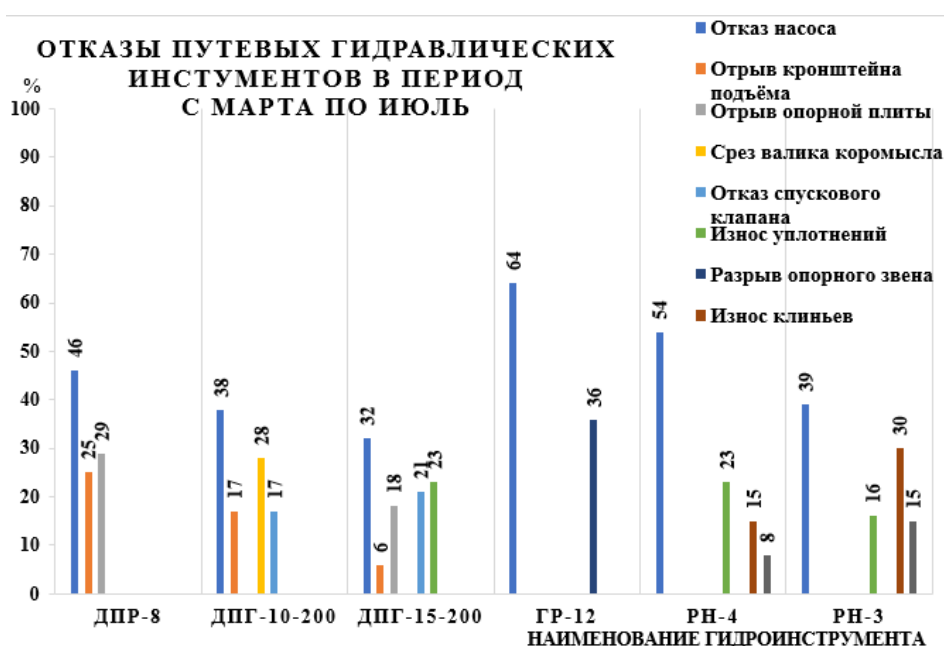


Рис. 3. Отказы путевого гидравлического инструмента

Основными видами отказов в путевых домкратах, рихтовщиках являются: отказ насосных агрегатов; отказы клапанных устройств; отрыв опорных плит; поломка элементов, непосредственно взаимодействующих с рельсом. Основными направлениями совершенствования путевого гидравлического инструмента должны быть совершенствование конструкции и повышение долговечности гидравлических узлов инструмента [4].

## Выводы

Как и в случае с путевым инструментом для содержания железнодорожных путей, содержание подкрановых путей с помощью гидравлического инструмента, должны регламентироваться государственными стандартами. На сегодняшний день насчитывается более 5 государственных стандартов, формулирующих общие технические требования к гидравлическим узлам путевых инструментов, но большое количество отказов, связанных с надёжностью конструкций этих инструментов, подтверждает необходимость создания единого государственного стандарта, который будет включать в себя все основные требования к путевым гидравлическим инструментам с учетом существующих методик.

## Библиографический список

1. Анализ рынка подъемно-транспортного оборудования в России – 2024. Показатели и прогнозы [электронный ресурс]. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/43086/?ysclid=m31ightb9q517622734> (дата обращения 04.11.2024)
2. «ПУТЕЕЦ» путевой железнодорожный инструмент производство и продажа [сайт]. URL: <http://puteez.ru/o-kompanii/stati/30-naznachenie-osobennosti-vidy-domkratov> (дата обращения 03.11.2024)
3. ЖЕЛДОРМЕХАНИКА [сайт]. URL: <https://zdmspb.ru/collection/razgonschiki> (дата обращения 03.11.2024)
4. Трошко, И.В. Совершенствование системы стендовых испытаний путевого инструмента с объёмным гидроприводом: диссертация к.т.н.: 05.02.02 / Трошко Илья Васильевич. – М., 2009. – 208 с.

## References

1. Analysis of the lifting and transport equipment market in Russia – 2024. Indicators and forecasts [electronic resource]. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/43086/?ysclid=m31ightb9q517622734> (accessed 04.11.2024)
2. "PUTEETS" railway track tool production and sale [website]. URL: <http://puteez.ru/o-kompanii/stati/30-naznachenie-osobennosti-vidy-domkratov> (accessed 03.11.2024)
3. ZHELDORMECHANIKA [website]. URL: <https://zdmspb.ru/collection/razgonschiki> (accessed 03.11.2024)
4. Troshko, I.V. Improvement of the system of bench tests of a track tool with a volumetric hydraulic drive: dissertation of candidate of technical sciences: 02/05/02 / Troshko Ilya Vasilyevich. – M., 2009. – 208 p

УДК 621.001.4

*Российский университет транспорта  
доц. кафедры «Наземные транспортно-  
технологические средства*

*В.И. Фомин*

*Россия, Москва*

*тел. +7(495) 274-02-74\*3552*

*e-mail: fl14700@yandex.ru*

*Российский университет транспорта  
канд. техн. наук, доц. кафедры «Наземные  
транспортно-технологические средства»*

*М.Ю. Чалова*

*Россия, г. Москва, тел. +7(916) 543-07-67*

*e-mail: margarita\_chalova@mail.ru*

*Russia University of Transport  
Assistant professor of the Department  
«Ground Transport and Technological  
Means» V.I. Fomin*

*Russia, Moscow,*

*tel. +7 (495) 274-02-74\*3552*

*e-mail: fl14700@yandex.ru*

*Russian University of Transport  
D. Sc. (Engineerin) Prof. of the Department  
«Ground Transport and Technological  
Means» M.Y. Chalova*

*Russia, Moscow, tel. +7(916) 543-07-67*

*e-mail: margarita\_chalova@mail.ru*

В.И. Фомин, М.Ю. Чалова

## **ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБКАТКИ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ**

Рассмотрены физические процессы фрикционного контакта элементов механических передач при их обкатке. Показано, что технологическая обкатка механических передач с постепенным увеличением режима нагружения позволяет исключить увеличенный расход ресурса соединения в начальный период работы. Предложен ступенчатый режим увеличения нагрузки при технологической обкатке. Приведены методика и пример расчета продолжительности режимов технологической обкатки по ступенчатому графику приложения нагрузки.

**Ключевые слова:** механические передачи, технологическая обкатка, режимы нагружения.

V.I. Fomin, M.Yu. Chalova

## **JUSTIFICATION OF THE MODES OF TECHNOLOGICAL RUNNING-IN OF MECHANICAL TRANSMISSION ELEMENTS**

The physical processes of friction contact of mechanical transmission elements during their run-in are considered. It is shown that the technological running-in of mechanical gears with a gradual increase the loading mode eliminates the increased consumption of the connection resource in the initial period of operation. A stepwise mode of increasing the load during technological run-in is proposed. A method and an example of calculating the duration of technological run-in modes according to a step-by-step load application schedule are given.

**Key words:** mechanical gears, process run-in, loading modes.

Изготовление и ремонт элементов механических пердач, таких как, редукторы, коробки перемены передач и др. следует завершать технологической обкаткой, при которой происходит приработка сопрягаемых поверхностей подвижных соединений

деталей, например, зубчатых колес, подшипников и др. В процессе приработки на сопрягаемых поверхностях подвижных соединений деталей формируется оригинальный микрорельеф, который длительно сохраняется при дальнейшей работе таких соединений.

Процесс приработки рассмотрен в трудах И.В.Крагельского [1], Н.А.Буше [2] и др. Условно процесс приработки принято разделять на две фазы: 1) начальная, при которой осуществляется интенсивная приработка на макроуровне, когда в результате пластической деформации, микросрезания неровностей, местного их схватывания и вырывания увеличивается фактическая площадь фрикционного контактирования; 2) завершающая, при которой формируются достаточное количество единичных площадок контактирования, обеспечивающее равновесную, устойчивую шероховатость трущихся поверхностей и максимальную несущую способность.

Первая фаза при интенсивных режимах приработки возникает при приложении номинальных режимов нагрузки и скоростей относительного перемещения трущихся поверхностей, когда не применяются специальные меры по снижению нагрузки при обкатке. Приработка в интенсивных режимах приработки (начальный режим 1, как показано на рисунке) осуществляется в режиме граничной смазки, сопровождающейся частичным разрывом масляной пленки между трущимися поверхностями, но при соблюдении режимов трения, приближающихся к критическим - «на грани заедания» и характеризуется высоким значением показателя Зоммерфельда ( $\mu\omega/p_a$ ) и коэффициента трения  $f_t$  [2]. Высокие значения коэффициента трения  $f_t$  показывают на значительную интенсивность изнашивания и существенное изменение параметров фрикционного контакта подвижных соединений.

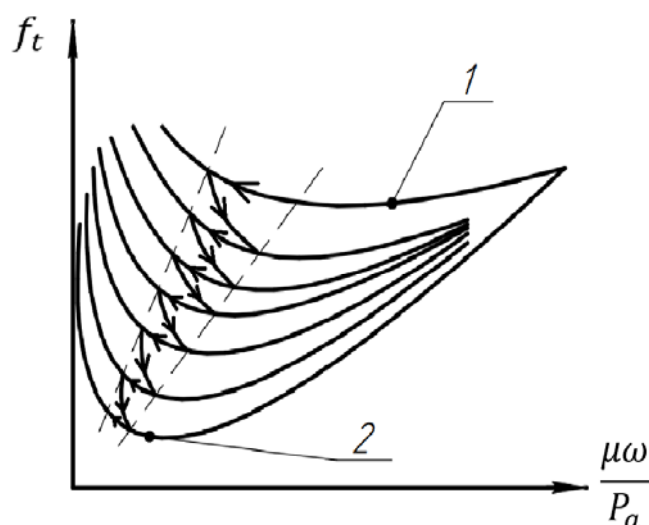


Рис. Зависимость коэффициента трения по уровням нагрузки при технологической обкатке

В этой фазе приработки величина фактической площади контакта увеличивается, среднее удельное давление и средняя температура в зоне контакта уменьшаются. В конце этой фазы приработки их величины соответствуют допустимым для нормальной эксплуатации. Первоначально заданный конструктором характер их взаимодействия не нарушается, но ресурс соединения оказывается частично израсходованным. Все эти явления характерны при отсутствии погрешностей изготовления и сборки сопряжения. В противном случае в начальный период приработки высока вероятность возникновения объемного схватывания контактирующих поверхностей и их аварийного изнашивания.

Вторая фаза приработки осуществляется в режиме полужидкостной смазки, когда изменение характера взаимодействия контактирующих поверхностей в этот период в

основном определяется сопротивляемостью контактными усталостным повреждениям при существенно меньшей интенсивности изнашивания.

По завершении этой фазы независимо от первоначальной шероховатости устанавливается равновесная шероховатость контактирующих поверхностей. При этом, как показал Н.А. Буше [2], осуществляется «самоорганизация технических систем в результате структурной приспособляемости при трении». Далее при работе остаточный ресурс соединения постепенно уменьшается до момента нарушения первоначально заданного конструктором характера взаимодействия.

Таким образом, если не регулировать режимы первой фазы приработки, то ресурс соединения будет израсходован именно при первой фазе приработки, а вероятность возникновения объемного схватывания контактирующих поверхностей и их аварийного изнашивания оказывается весьма высокой.

Теоретические основы управления процессом приработки разработаны в исследованиях И.В.Крагельского [1]. Например, одной из мер снижения повреждающего воздействия при приработке в начальной фазе предложено применять режим обкатки при постепенном увеличении уровня нагрузки при технологической обкатке механических передач или при эксплуатационной обкатке машин в целом (см. рисунок). Здесь условно показаны семь уровней нагружения технических подвижных систем при обкатке. Первый уровень, обозначен как 1, является начальным, когда значение показателя Зомерфельда ( $\mu\omega/p_a$ ) является максимальным при малой величине удельной нагрузки  $p_a$ . Дальнейшее ступенчатое увеличение удельной нагрузки  $p_a$  приводит к изменению режима обкатки до конечного уровня, который обозначен как 2. При этом на всех уровнях обеспечивается полужидкостная смазка (зона а). При таком способе регулирования уровня нагрузки при обкатке удастся избежать частичного разрыва масляной пленки между трущимися поверхностями и обеспечить режим трения, гарантировано исключая критический уровень - «на грани заедания», и исключить вероятность возникновения объемного схватывания контактирующих поверхностей и их аварийного изнашивания.

Следует отметить, что в технических условиях, обозначенных на сборочных чертежах элементов технических систем, содержатся общие указания о режимах обкатки. Обычно указывается время обкатки на холостом ходу при заданной частоте вращения входного или выходного вала, которое не превышает обычно 2-х часов. Реже приводится режим ступенчатого изменения частоты вращения валов. И очень редко приводится нагрузочный режим обкатки. Скорее всего такие режимы обкатки служат для контроля правильности сборки, регулировки и надежности крепления деталей, но не обеспечивают образования на сопрягаемых поверхностях подвижных соединений микрорельефа, несущая способность которого способна выдержать номинальную нагрузку без существенных последствий. Подтверждением этого могут служить требования контроля при проведении обкатки: не допускается повышенная вибрация корпуса, повышенные шумы, утечки смазочного материала, нагрев корпуса выше 80 °С и пр.

В некоторых случаях технологическая обкатка элементов технических систем не предусмотрена регламентом производства, а устанавливается эксплуатационная обкатка с уменьшением нагрузки и рабочих скоростей в течение первого месяца работы для технологических машин или пробега 1000 км – для транспортных машин. Считается, что в это период формируется оригинальный микрорельеф сопрягаемых поверхностей, который длительно сохраняется при дальнейшей работе таких соединений, и нарушения первоначально заданного конструктором характера взаимодействия таких соединений не произойдет. Но первая, начальная фаза приработки осуществится и ускоренное расходование ресурса таких сопряжений произойдет. Таким образом, экономия за счет отказа от технологической обкатки на этапе производства, отразится на снижении эффективности работы машины в период эксплуатационной обкатки. Особенно явно это

будет проявляться, если обкатываемая машина используется как звено в производственных комплексах.

Таким образом, если не регулировать режимы первой фазы приработки, то ресурс соединения в значительной мере будет израсходован именно при первой фазе приработки. Для сохранения ресурса сопряжения необходимо обкатку осуществлять по режимам второй фазы приработки, исключив или сократив большинство явлений, характерных для первой фазы приработки.

Попытаемся сформулировать рекомендации по формированию нагрузочного режима технологической обкатки элементов зубчатых передач. Примем режим 5 – ступенчатого изменения уровня нагрузки при обкатке: без нагрузки (5 %), 25 %, 50 %, 75 % и 100% номинальной нагрузки, который был применен при испытании на долговечность механических редукторов автогрейдеров [3].

Коэффициент сокращения продолжительности обкатки механической зубчатой передачи определим исходя, например, из соотношения контактных напряжений между зубьями обкатываемого редуктора при нагрузке и без нее, который применялся при форсированных испытаниях технических систем [4] в виде

$$k_c^{p\%} = \left( \frac{\sigma_H}{\sigma_X} \right)^m,$$

где  $\sigma_H$  и  $\sigma_X$  – контактные напряжения зубьев зубчатых колес при нагрузке и без нее;

$m$  – степенная зависимость, значение которой определяется видом превалирующего фактора расходования ресурса сопряжения.

Так, при контактном нагружении с начальным касанием по линии рекомендуется принимать  $m = 6$ , при изнашивании в условиях недостаточного смазочного материала –  $m = 2$ , с периодическим смазываем, но при несовершенном трении –  $m$  не более 3 [4]. Представляется возможным применить для режима ступенчатого изменения нагрузки при обкатке показатель  $m = 2$ .

Продолжительность периода обкатки при различных уровнях нагрузки найдем по формуле

$$t^{p\%} = \frac{t_0}{k_c^{p\%}},$$

где  $k_c^{p\%}$  – коэффициент сокращения продолжительности обкатки при заданном уровне нагрузки (100%, 75%, 50%, 25%);

$t_0$  – продолжительность периода обкатки без нагрузки, эквивалентная периоду обкатки при данном уровне нагрузки.

Покажем результат тестового расчета по предложенной методике режимов технологической обкатки зубчатого планетарного редуктора механизма передвижения гидравлического экскаватора четвертой размерной группы, в технических условиях которого продолжительность обкатки в одном направлении без нагрузки установлена как 2 часа (120 мин).

Результат расчета режимов технологической обкатки приведен в таблице.

Таблица

Продолжительность технологической обкатки по ступенчатому графику нагрузки

| Нагрузка, % | $\sigma_H$ , МПа | $k_c^{P\%}$ | $t^{P\%}$ ,<br>мин |
|-------------|------------------|-------------|--------------------|
| 100         | 607              | 20          | 1,2                |
| 75          | 526              | 15          | 1,6                |
| 50          | 429              | 10          | 2,4                |
| 25          | 304              | 5           | 4,8                |
| 5           | 136              | 1           | 24,0               |
| ИТОГО       |                  |             | 34,0               |

Найдем коэффициент сокращения суммарной продолжительности обкатки в виде  $K_n^\Sigma = 120/34 = 3,5$ . Таким образом, длительность обкатки сокращается в 3,5 раза.

#### Выводы

Существенным способом сохранения ресурса подвижных соединений деталей машин является выполнение технологической обкатки с постепенным увеличением уровня нагрузки. Тестовый расчет применения технологической обкатки с пятиступенчатым режимом нагрузки показал снижение продолжительности обкатки более 3 раз.

#### Библиографический список

1. Костецкий Б.Н. Трение, смазка и износ в машинах. Киев-Москва, «Техніка», 1970, 396 с.
2. Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах. М., «Транспорт», 1987, 223 с.
3. Крившин А.П., Суриков А.Я., Баженов В.Г. Повышение надежности и долговечности машин. М., «Транспорт», 1966, 187 с.
4. Надежность машин: Учеб. пособие для машиностр. спец. вузов/Д.Н.Решетов, А.С.Иванов, В.З.Фадеев; Под ред. Д.Н.Решетов. М., «Высш. шк.», 1988, 238 с.

#### References

1. Kostetsky B.N. Friction, lubrication and wear in machines. Kiev-Moscow, "Tehnika", 1970, 396 sec.
2. Bushe N.A. Friction, wear and fatigue in machines. M., Moscow, «Transport Publ.», 1987, 223 sec.
3. Krivshin A. P., Surikov A.Y., Bazhenov V.G. Improving the reliability and durability of machines. Moscow, "Transport", 1966, 187 sec.
4. Reliability of machines: Textbook for mashinostr. special vuzov /D.N. Reshetov, A.S. Ivanov, V.Z. Fadeev; Edited by D.N. Reshetov, Moscow, "Higher School", 1988, 238 sec.

# **СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**

УДК 69.07

*Санкт-Петербургский Политехнический  
университет Петра Великого  
студент А.С. Барабанов  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
e-mail: barabanov.as@edu.spbstu.ru  
Санкт-Петербургский Политехнический  
университет Петра Великого  
доцент, к.т.н. О.С. Гамаюнова  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
e-mail: gamayunova\_os@spbstu.ru*

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic Uni-  
versity  
Student A.S. Barabanov  
Russia, Saint-Petersburg,  
e-mail: barabanov.as@edu.spbstu.ru  
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic Uni-  
versity  
Associate Professor, Ph.D. O.S. Gamayunova  
Russia, Saint-Petersburg,  
e-mail: barabanov.as@edu.spbstu.ru*

А.С. Барабанов, О.С. Гамаюнова

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ ИЗ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В BIM-СРЕДЕ**

Представлены способы организации работ по проектированию панельных зданий с помощью средств информационного моделирования, определены преимущества и недостатки BIM-инструментов. Рассмотрены возможные подходы проектирования зданий с несущим каркасом из сборных железобетонных панельных изделий: модель-сборка из групп моделей сборных элементов, модель-сборка из моделей связей.

**Ключевые слова:** префабрикация, модульное строительство, панельные здания, BIM-технологии, Autodesk Revit.

A.S. Barabanov, O.S. Gamayunova

## **DESIGN FEATURES OF PANEL BUILDINGS MADE OF PRECAST REINFORCED CONCRETE IN A BIM ENVIRONMENT**

Methods for organizing work on the design of panel buildings using information modeling tools are presented, and the advantages and disadvantages of BIM tools are identified. Possible approaches to designing buildings with a load-bearing frame made of prefabricated reinforced concrete panel products are considered: a model-assembly from groups of models of prefabricated elements, a model-assembly from models of connections.

**Keywords:** prefabrication, modular construction, panel buildings, BIM-technologies, Autodesk Revit.

Префабрикация в строительстве – это процесс, при котором строительные элементы и конструкции производятся заранее в контролируемых условиях в соответствии с отлаженными технологическими процессами на заводе, а затем доставляются на строительную площадку для монтажа. Такой подход, при котором минимизируется сложность и трудоемкость работ на

строительной площадке, выгодно отличается от традиционных способов строительства сокращением продолжительности возведения зданий и более качественным строительным продуктом.

Модульное строительство широко применялось в советское время, при этом преобладали объемно-блочный и панельно-блочный типы зданий с использованием цельноформованных железобетонных объемных блоков. В настоящее время в РФ префабрикация как способ строительства по большей части характеризуется применением сборных железобетонных панелей для возведения несущего каркаса. Хотя модульное домостроение заметно уступает по распространённости монолитной строительной системе, застройщики все чаще отдают предпочтение сборно-монолитной системе для своих объектов различного функционального назначения [1-3].

Специфика модульного строительства накладывает свой отпечаток и на процесс проектирования [4]. Необходимо выстроить работу так, чтобы по возможности избежать рутинных процессов, связанных с разработкой отдельных строительных изделий (модулей), при этом необходимо минимизировать проектные ошибки, которые могут возникнуть при итоговой сборке модулей в единую конструкцию. Для этих целей подходит Autodesk Revit - ПО для автоматизированного проектирования и информационного моделирования BIM, (Building Information Modeling). Информационную модель, реализованную с помощью данного ПО, можно экспортировать в формат IFC, которую в свою очередь, можно передать в строительную экспертизу [5, 6].

BIM-технологии ко всему прочему позволяют удешевить и сократить сроки проектирования модульных объектов за счет автоматического сбора данных на основе атрибутивной информации, назначенной элементам модели, своевременному анализу на коллизии. Эффективно применяя инструменты информационного моделирования, можно снизить вероятность возникновения проектных ошибок сборных элементов за счет возможности представить в наглядном 3D-виде как монтажную сборку части здания, так и отдельную панель в частности.

Цель работы – рассмотреть различные подходы при проектировании зданий с несущим каркасом из сборных железобетонных панельных изделий с помощью средств информационного моделирования (ПО Autodesk Revit), определить преимущества и недостатки рассмотренных способов. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: определить наиболее эффективный инструментарий предложенного ПО, рассмотреть различные подходы при организации проектирования, сформулировать выводы.

Независимо от принятого подхода к разработке модульных зданий, важно определить ключевые инструменты, которые предоставляет программное обеспечение и применение которых обеспечит наиболее эффективные процессы проектирования. К числу таких инструментов можно отнести инструмент «Группа модели» (рис. 1).

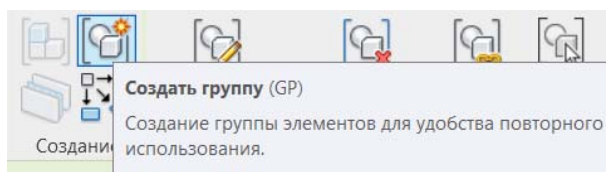


Рис. 1. Группа модели

С помощью данного инструмента можно замоделировать элемент префабрикации, который при необходимости можно классифицировать, специфицировать, идентифицировать его положение в общей монтажной схеме и объеме здания, а также дублировать и многократно применять с учетом стремления к унифицированию элементов. При этом все конструктивные элементы, входящие в состав модуля, являются частью одной сущности, конфигурации, но которым можно назначать собственную атрибутивную информацию. В целом данный инструмент позволяет упростить процесс управления большим количеством элементов в проекте и улучшить его организацию.

В работе рассматриваются два возможных подхода при проектировании зданий с несущим каркасом из сборных железобетонных панельных изделий:

1. Модель-сборка из групп моделей сборных элементов.

Проектируемое здание при таком подходе – основная и единственная модель, в которой содержатся все сборные элементы панелей, смоделированные группами моделей (рис. 2).

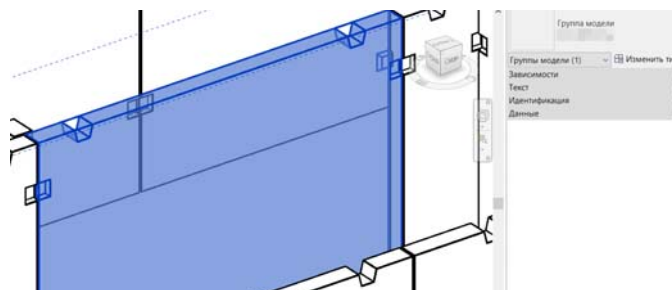


Рис. 2. Модель-сборка из групп моделей

При таком подходе появляется возможность анализировать получившиеся проектные решения здания в его «собранном» состоянии, без стороннего ПО, комплексно обрабатывать задания смежных разделов, назначать атрибутивную информацию элементам модели.

Большое количество групп-сборных элементов в одной общей модели может значительно нагрузить систему, что предъявляет серьезные требования к техническим характеристикам ПК пользователя. Работа с моделями при обозначенном подходе требует также серьезных компетенций специалистов в BIM-среде. Работу инструмента «группа» в целом можно охарактеризовать как нестабильную: отдельные корректировки в группах у неопытного пользователя могут привести к их «взрыву», то есть ситуации, когда единая конфигурация связанных элементов превращается в набор отдельных разрозненных элементов в пространстве модели. Игнорирование таких ситуаций может привести к нарушениям логики специфицирования, в целом чревато возникновением проектных ошибок. К тому же появляется необходимость внимательно следить и своевременно корректировать параметры групп, отвечающие за координаты (положение) в общей модели.

Также поскольку вся проектная информация содержится в одной модели, появляются ограничения при одновременной работе нескольких специалистов в этой модели ввиду системных особенностей программного комплекса.

2. Модель-сборка из моделей связей.

В основе данного способа заложен принцип: каждый элемент префабрикации – отдельная модель, которая подгружается в виде связи в одну общую модель-сборку (рис. 3).

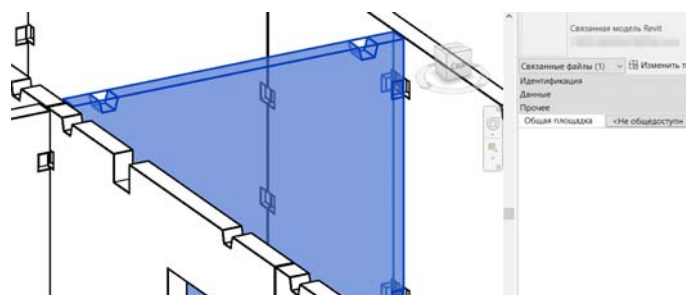


Рис. 3. Модель-сборка из моделей связей

Большое количество отдельных моделей сборных элементов позволяет таким образом «запараллелить» процесс проектирования и разработки рабочей документации: при необхо-

димости целая группа проектировщиков в состоянии одновременно вести работу над комплектами.

В сравнении с предыдущим способом, сводится к минимуму количество групп-сборок, но значительно возрастает количество моделей-ссылок. Сложно судить о том, при каком именно подходе упрощается работа с моделью и ведение реестра сборных изделий, вероятность допущения проектной ошибки в случае рассматриваемого способа также не исключается.

В процессе работы в BIM-среде необходимо соблюдение требований следующих документов:

– EIR (Employer`s Information Requirements) – документ, определяющий требования и цели заказчика к BIM-модели;

– BEP (BIM Execution Plan) – документ, определяющий порядок взаимодействия между участниками проекта, требования к BIM-модели и ее содержанию и т. д.

Эффективная работа с BIM-моделями невозможна без строгого соблюдения требований этих документов всеми участниками проекта.

EIR и BEP являются динамичными, изменяющимися во времени документами: в процессе проектирования в них могут измениться требования, предъявляемые к моделям. То есть в ситуации, когда проект представляет собой большое множество моделей, это обстоятельство будет иметь скорее негативные последствия, поскольку в таком случае понадобятся дополнительные ресурсы квалифицированных специалистов на создание IT-инструментов, плагинов для массового переназначения атрибутивной информации.

Таким образом, возможные преимущества и недостатки каждого подхода сведены в таблицу.

Таблица

Преимущества и недостатки способов проектирования зданий с несущим каркасом из сборных железобетонных панельных изделий

| Способ 1: Модель-сборка из групп моделей сборных элементов |  | Способ 2: Модель-сборка из моделей связей сборных элементов |   |
|--|--|---|---|
| Преимущества   | Недостатки                               | Преимущества  | Недостатки  |
| Удобство заполнения параметров элементов модели            | Нестабильная работа инструмента «Группы» | Удобство разработки рабочей документации                    | Сложности с переназначением параметров элементов модели |
| Небольшое число моделей в проекте                          | Ограничения в совместной работе          | Возможность ускорить разработку рабочей документации        | Вероятность допущения проектной ошибки                  |

### Выводы

В работе рассмотрены возможные варианты организации проектирования сборных панельных зданий с помощью современных BIM-инструментов, выявлены их преимущества и недостатки. Полученные результаты позволяют говорить о том, что на данный момент не существует универсальной методики формирования BIM-модели модульных объектов и необходимо определять оптимальную стратегию проектирования такого рода зданий с учетом имеющихся ресурсов, проектных сроков и компетенций специалистов.

### Библиографический список

1. Астафьева Н.С., Садовский А.Д., Филатова Ю.С. Программные ограничения при проектировании зданий из сборного железобетона с использованием технологии информационного моделирования // Неделя науки ИСИ: Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. 2021. с. 94-97.

2. Арашкевич И.В. Применение BIM-технологий при проектировании сборного железобетона // World science: problems and innovations: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции: в 2 частях, Пенза, 30 октября 2017 года. Том Часть 1. Пенза: «Наука и Просвещение». 2017. с. 71-73.
3. Крыжановский В.В. Модульные здания в современном строительстве // Инженерные исследования. 2023. № 1(11). С. 31-37. EDN PQCATC.
4. Рыбакова А.О. Оценка эффективности проектирования на основе модульных элементов максимальной готовности // Строительство: наука и образование. 2022. №3. с. 137-150.
5. Жарков Д.И. Перспективы развития BIM-технологий // Инженерные исследования. 2021. № 2(2). С. 9-15. EDN EEUAJZ.
6. Рыбакова А. О. Анализ особенностей проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. № 2. с.65-77.

#### References

1. Astafieva N.S., Sadovsky A.D., Filatova Y.S. Software limitations in designing precast concrete buildings using information modeling technology // Week of Science ISI: Proceedings of the All-Russian Conference in 3 parts. 2021. Pp. 94-97.
2. Arashkevich I.V. Application of BIM technologies in the design of precast reinforced concrete // World science: problems and innovations: collection of articles of the XIV International Scientific and Practical Conference: in 2 parts. Penza. October 30. 2017. Volume Part 1. Penza: «Science and Education». 2017. Pp. 71-73.
3. Kryzhanovsky V.V. Modular buildings in modern construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.1 (11). Pp. 31-37. EDN: PQCATC
4. Rybakova A.O. Evaluation of the efficiency of design based on modular elements of maximum readiness // Construction: Science and Education. 2022. №3. Pp. 137-150.
5. Zharkov D.I. Prospects for development of BIM technologies // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 2 (2). Pp. 9-15. EDN EEUAJZ.
6. Rybakova A.O. Analysis of the features of design based on the application of modular elements of maximum readiness. Construction: Science and Education. Vol. 11. No. 2. 2021. Pp. 65-77.

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ**

УДК 614.842.6

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доцент, кафедры техно-  
сферной и пожарной безопасности  
Е.З. Арифуллин*

*Россия, г. Воронеж, тел. +79507571637  
e-mail: arif-vrn@mail.ru*

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры  
техносферной и пожарной безопасности  
С.Д. Николенко*

*Россия, г. Воронеж, тел. +79507571637  
e-mail: arif-vrn@mail.ru*

*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: a.n.shienko@mail.ru*

*Voronezh State  
Technical University*

*D.Sc.( Engineerin), Associate Professor of the  
Department of Technosphere and Fire Safety  
E.Z. Arifullin*

*Russia, Voronezh, tel. +7 9507571637  
e-mail: arif-vrn@mail.ru*

*Voronezh State  
Technical University*

*D.Sc.( Engineerin), Associate Professor, Asso-  
ciate Professor of the Department of  
Technosphere and Fire Safety S.D. Nikolenko*

*Russia, Voronezh, tel. +7 9102444159  
e-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru*

*Cand. of Tech. Science, Associate prof. of the  
chair of construction machinery and engineer-  
ing mechanics of a name of professor N.A.  
Ulyanov A.N. Shchienko*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 2-77-01-29  
e-mail: a.n.shienko@mail.ru*

Е.З. Арифуллин, С.Д. Николенко, А.Н. Щиенко

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПО ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

В данной статье приводится краткое описание расчета сил и средств по ликвидации пожара на примере производственного объекта мебельного значения (ООО Холдинговая Компания «Мебель Черноземья») обобщенного практическими и профессиональными навыками для обеспечения пожарной безопасности муниципального предназначения.

**Ключевые слова:** пожар, производственный объект, пожарная безопасность, тушение, пожарные подразделения.

E.Z. Arifullin, S.D. Nikolenko, A.N. Shchienko

## **ENSURING SAFETY IN ELIMINATION OF FIRE-HAZARDOUS SITUATIONS AT MUNICIPAL INDUSTRIAL**

This article provides a brief description of the calculation of forces and means for extinguishing a fire using the example of a furniture production facility (OOO Holding Company "Furniture of Chernozemya"), generalized by practical and professional skills to ensure fire safety for municipal purposes.

**Keywords:** fire, industrial facility, fire safety, extinguishing, fire departments.

**Введение.** Со временем все больше происходит усложнение технологических процессов, увеличение площадей застройки данных производственных объектов, что неуклонно повышает их пожарную опасность. Пожары на промышленном предприятии наносят серьезный ущерб, а часто вызывает увечье и смерть, как самих рабочих, так и личного состава подразделений пожарной охраны. Все это в полной мере характерно для мебельной фабрики.

Повышенная пожарная опасность мебельных производств предопределена нахождением там и накоплением большого количества пиломатериалов, заготовок, деталей, готовых изделий. Например, строжка, фрезерование и шлифование древесины, в отличие от раскройки на лесопильных рамах, являются более пожароопасными процессами, поскольку сопровождаются образованием тонких стружек и мелкодисперсной пыли, которые могут загораться даже от искры.

Что касается цехов сушки древесины, здесь пожарная опасность обуславливается наличием в них используемых количества разнообразных нитроцеллюлозных и полиэфирных лаков, красок, растворителей и разжижителей, которые испаряющийся в воздух рабочей зоны, образуют взрывопожароопасные пылевоздушные смеси.

Следовательно, во время разработки противопожарных мероприятий для мебельного производства необходимо особенное внимание уделять отделочным цехам, а также вентиляционным системам, которые обслуживают рабочие участки и локальным, нормативно-правовым документам по проведению расчетов и сценариев опасных ситуаций для обеспечения пожарной безопасности.

**Объектом исследования** – являлось ООО Холдинговая Компания «Мебель Черноземья» расположена на территории Железнодорожного района г. Воронеж по адресу ул. Богдана Хмельницкого, д. 51А (рис1). Функциональное назначение данного объекта является производство мебельной продукции. Общая площадь территории занимаемой мебельной фабрикой составляет 82 667 м<sup>2</sup>. Максимальное количество работающего персонала пребывающего в дневное время достигает 900 человек, в ночное время – до 80 человек [1].



**Рис. 1.** Общий вид производства «Мебель Черноземья»

Представляет собой одноэтажное здание, размером в плане 150x45м., высотой 10 м., имеющее классификационный показатель по пределам огнестойкости – I степень огнестойкости.

Вентиляция приточно-вытяжная. Удаление опилок из рабочей зоны осуществляется по пневмовытяжным каналом в фильтры-циклоны, расположенные на территории предприятия. Для эвакуации рабочих имеются 10 выходов. В смене находится до 250 человек рабочего персонала.

Удельная нагрузка по горючими материалами составляет 350 кг./м<sup>2</sup>. В цехе установлены внутренние пожарные краны диаметром 51 мм.

При проведении исследований, установлено, что наиболее пожароопасную ситуацию сопровождает технологическое оборудование расположенного в сушильно-заготовительном цехе данного объекта.

**Результаты расчетов.** Прогнозный расчет сил и средств для тушения пожара в сушильно-заготовительном цехе. Пожар прогнозируемый возник в сушильно-заготовительном цехе размерами в плане 150 x 45 м и высотой 10 м.

$$J_{тр.} = 0.20 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2; V_{\text{лин.}} = 2.0 \text{ м/мин.}$$

Определение времени свободного развития пожара:

$$\tau_{\text{св.}} = \tau_{\text{дс.}} + \tau_{\text{сб.}} + \tau_{\text{сл.}} + \tau_{\text{бр.}} = 5 + 1 + 3 + 4 = 13 \text{ мин [2].}$$

Определение пути пройденным огнем за время свободного развития пожара:

$$L = 0,5 \cdot V_{\text{л.}} \cdot 10 + V_{\text{л.}} \cdot (\tau_{\text{св.}} - 10) = 0,5 \cdot 2 \cdot 10 + 2 \cdot (13 - 10) = 16 \text{ м.}$$

Определение площади пожара: Пожар принял круговую форму.

$$S_{\text{п}} = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 16^2 = 804 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{т}} = \pi \cdot h_{\text{т}} \cdot (2R - h_{\text{т}}) = 3,14 \cdot 5 \cdot (2 \cdot 16 - 5) = 423,9 \text{ м}^2.$$

Определение требуемого расхода воды на тушение:

$$Q_{\text{т.тр.}} = S_{\text{туш.}} \cdot J_{\text{т.расход}} = 423,9 \cdot 0,2 = 84,78 \text{ л/с.}$$

Определяем необходимое количество стволов для локализации пожара  $N_{\text{ств.}}$ . Ручной ствол диаметр 70 (РС-70): тушение производится личным составом (л/с) с применением 9 стволов; на тушение необходимо - 9 стволов РС-70 с насадкой распылителем диаметра 10 мм (НРТ-10).

Определение требуемого количества стволов на защиту: Исходя из тактических соображений, на защиту соседнего административно-бытового здания используем 2 ствола РС-70.

Определение фактического расхода воды на тушение пожара и защиту:

$Q_{\text{ф}} = Q_{\text{тф.}} + Q_{\text{зф.}} = 9 \cdot 10 + 2 \cdot 7,4 = 104,8$  литра в секунду (л/с), условие  $Q_{\text{ф}} > Q_{\text{тр}}$  выполняется  $104,8 \text{ л/с} > 99,8 \text{ л/с}$ . Определение соответствия ПГ на водоотдачу: т.к. линия кольцевого противопожарного водопровода  $d = 200$  мм при давлении в сети равном 3 атм. выдает расход  $Q_{\text{водопр}} = 110 \text{ л/с}$ .  $Q_{\text{водопр}} = 110 \text{ л/с} > Q_{\text{ф}} = 104,8 \text{ л/с}$  – соответствует.

Определяем количество автоцистерн, устанавливаемых на пожарные гидранты:  $N_{\text{пож. авт.}} = Q_{\text{ф. общ.}} / Q_{\text{н}} = 104,8 : 37 = 3$  АЦ.

Определение численности личного состава:

$$N_{\text{лс}} = N_{\text{гдзс. туш.защ.}} \cdot 3 + N_{\text{пб}} + N_{\text{гдзс рез.}} \cdot 3 + N_{\text{раз.}} + N_{\text{м.}} + N_{\text{ств.защ.}} = 9 \cdot 3 + 9 + 3 \cdot 3 + 5 + 3 + 2 = 55 \text{ чел.}$$

Определение требуемого количества отделений:

$$N_{\text{отд.}} = N_{\text{лс}} / 4 = 55 / 4 = 13,75 \approx 14 \text{ отделений [3.,11-13.}$$

## Выводы

1. Проведен краткий анализ оперативно-тактической характеристики опасного производственного объекта, по предназначению и территориальному расположению.

2. Согласно приведенным расчетам подразделений пожарной охраны для тушения пожаров для данного объекта необходимо выслать силы и средства по рангу пожара №3: 14 автоцистерн (АЦ), 3 автолестницы, (АЛ) 1 автомобиль газового тушения (АГ).

Таким образом, полученные результаты расчетов пожарных подразделений для объектов повышенной опасности, требуют организованного управления по обеспечению пожарной безопасности в субъектах Российской Федерации.

## Библиографический список

1. [https://alestech.ru/factory/997-mebel\\_cernozema?ysclid=m14qsz606g349958524](https://alestech.ru/factory/997-mebel_cernozema?ysclid=m14qsz606g349958524)  
(дата обращения 16.10.2024).
2. Повзик Я.С., Ключ П.П., Матвейкин А.М. Пожарная тактика: учебник для пожарно-технических училищ. М: Стройиздат, 1990. 335 с.
3. Арифуллин Е.З. Многоуровневая функциональная модель ликвидации пожароопасных и других видов чрезвычайных ситуаций / Е.З. Арифуллин, С.В. Костыков, П.И. Зибров, А.С. Славинский // В сборнике: Научные исследования - основа современной инновационной системы. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2024. С. 11-13.

## References

1. [https://alestech.ru/factory/997-mebel\\_cernozema?ysclid=m14qsz606g349958524](https://alestech.ru/factory/997-mebel_cernozema?ysclid=m14qsz606g349958524)  
(date of access 16.10.2024).
2. Povzik Ya.S., Klyus P.P., Matveykin A.M. Fire tactics: textbook for fire-technical schools. M., Stroyizdat, 1990, 335 575 sec.
3. Arifullin E.Z. Multi-level functional model for eliminating fire hazardous and other types of emergency situations / E.Z. Arifullin, S.V. Kostykov, P.I. Zibrov, A.S. Slavinsky // In the collection: Scientific research - the basis of a modern innovation system. Collection of articles of the International scientific and practical conference. Ufa, 2024. Pp. 11-13.

УДК 624.21

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доцент  
А.В. Еремин;  
Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-346-95-87  
e-mail: bora.av@mail.ru  
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  
Воронежский государственный  
технический университет  
Студент 6 курса Дорожно-транспортного  
факультета  
Ф.М. Абрамов  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(950) 754-81-44  
e-mail: fabramov2001@mail.ru  
Воронежский государственный  
технический университет  
Студент 6 курса Дорожно-транспортного  
факультета  
Е.В. Корнилов  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(919) 247-75-25  
e-mail: jenya8885@gmail.com*

*Voronezh State  
Technical University  
Cand. Of Tech. Science, Associate prof.  
A.V. Eremin;  
Russia, Voronezh, tel. +7-910-346-95-87  
e-mail: bora.av@mail.ru  
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  
Voronezh State  
Technical University  
Sixth year student of the Faculty of Roads  
and Transport  
F.M. Abramov  
Russia, Voronezh, tel. +7(950) 754-81-44  
e-mail: fabramov2001@mail.ru  
Voronezh State  
Technical University  
Sixth year student of the Faculty of Roads  
and Transport  
E.V. Kornilov  
Russia, Voronezh, tel. +7(919) 247-75-25  
e-mail: jenya8885@gmail.com*

А.В. Еремин, О.А. Волокитина, Ф.М. Абрамов, Е.В. Корнилов

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА БЕТОНА**

В статье приведен способ, позволяющий определить наличие аномалий или их отсутствие, на основе данных, полученных в ходе ультразвукового обследования бетона.

**Ключевые слова:** бетон, ГОСТ Р 71039-2023, ультразвуковое обследование, аномалии в бетоне.

A.V. Eremin, O.A. Volokitina, F.M. Abramov, E.V. Kornilov

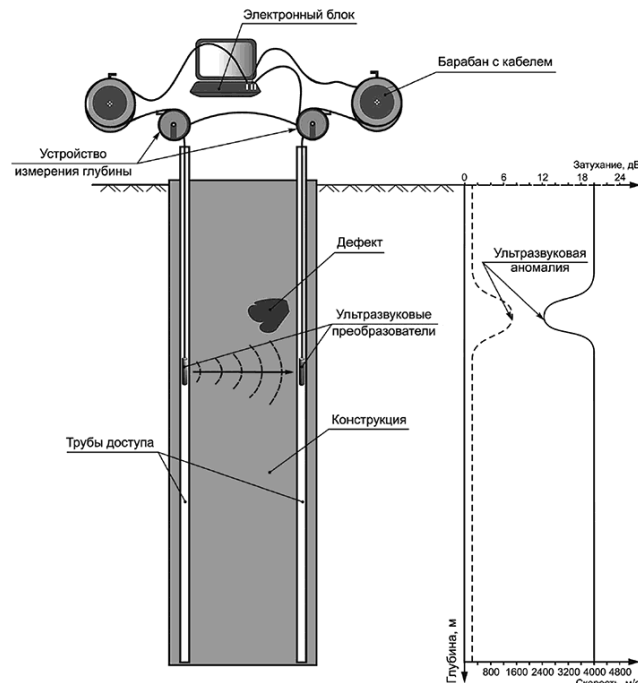
### **AUTOMATED PROCESSING OF THE RESULTS OF ULTRASONIC CONCRETE QUALITY CONTROL**

The article provides a method for determining the presence of anomalies or their absence, based on data obtained during an ultrasound examination of concrete.

**Keywords:** concrete, GOST R 71039-2023, ultrasound examination, anomalies in concrete.

Контроль качества бетона в сваях с использованием ультразвукового метода основан на получении и анализе параметров ультразвуковых волн (их скорости распространения и затухания), что позволяет делать выводы о цельности бетонной конструкции.

Схема проведения испытания ультразвуковым методом представлена на рисунке 1.

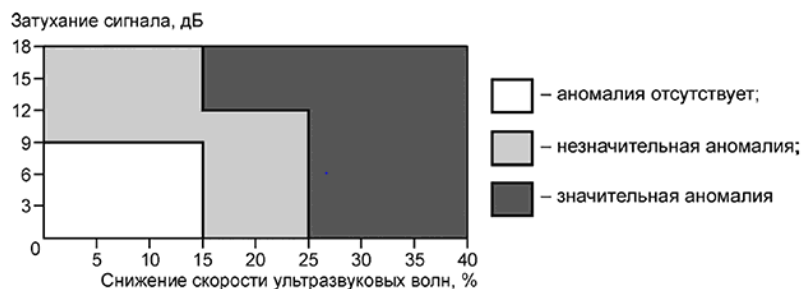


**Рис. 1.** Схема проведения испытания

Согласно Приложению В ГОСТа Р 71039-2023, совокупность параметров затухания сигнала и снижения скорости распространения ультразвуковой волны, могут говорить о наличии (отсутствии) следующих видов дефектов в исследуемом объекте.

- аномалии отсутствуют;
- незначительные аномалии;
- значительные аномалии.

Критерии назначения аномалий представлены на рисунке 2.



**Рис. 2.** Критерии выделения аномалий

С целью повышения количества и качества обрабатываемых значений, был разработан программный код, обрабатывающий список полученных при обследовании значений, записанных в файле формата xls. (рисунок 3).

```
main.py +
1 import openpyxl
2
3 # Открываем файл Excel
4 workbook = openpyxl.load_workbook('Книга1.xlsx')
5 sheet = workbook['Лист1']
6
7 # Проходим по строкам
8 for row in range(2, sheet.max_row + 1):
9     x = sheet[f'A{row}'].value
10    y = sheet[f'B{row}'].value
11
12    # Проверяем условия и заполняем столбец C
13    if 0 <= x <= 15 and 0 <= y <= 9:
14        sheet[f'C{row}'] = 'аномалия отсутствует'
15    elif 0 <= x <= 15 and 9 < y <= 18:
16        sheet[f'C{row}'] = 'незначительная аномалия'
17    elif 15 <= x <= 25 and 0 < y <= 12:
18        sheet[f'C{row}'] = 'незначительная аномалия'
19    elif 15 < x <= 25 and 12 < y <= 18:
20        sheet[f'C{row}'] = 'значительная аномалия'
21    elif 25 < x <= 40 and 0 <= y <= 18:
22        sheet[f'C{row}'] = 'значительная аномалия'
23
24 # Сохраняем изменения в файл
25 workbook.save('Книга1.xlsx')
```

Рис. 3. Код для определения наличия (отсутствия) аномалий в бетоне

Обработанные данные сохраняются в документе с названием «Книга1.xlsx» (для назначения другого названия, необходимо исправить соответствующие данные в 25 строке кода).

Подводя итог, можно говорить о том, что применение данного программного кода позволит значительно увеличить количество обработанных результатов измерений за промежутки времени.

### Библиографический список

[Нормативный документ]- ГОСТ Р 71037-2023 «Сваи буронабивные и «стены в грунте» траншейного и свайного типов. Межскважинный ультразвуковой метод контроля качества бетона».

### References

[Normative document] - GOST R 71037-2023 "Bored piles and "walls in the ground" of trench and pile types. Downhole ultrasonic method of concrete quality control".

УДК 621.436

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доц. кафедры  
строительной техники и инженерной  
механики имени профессора Н.А. Ульянова  
Р.А. Жилин  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 271-59-18  
e-mail: zhilinra@yandex.ru  
Магистранты дорожно-транспортного  
факультета  
Г.М. Картавцев, В.С. Ходцев  
Россия, г. Воронеж*

*Voronezh State  
Technical University  
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) 271-59-18  
e-mail: zhilinra@yandex.ru  
Master's students of the Road and Transport  
Faculty  
G.M. Kartavcev, V.S. Hodcev  
Russia, Voronezh*

Р.А. Жилин, Г.М. Картавцев, В.С. Ходцев

### **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ БЕЗОПАСНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ**

В статье представлен обзор технологий для повышения безопасности и устойчивости земляных работ на объектах, путем создания интеллектуальных и автономных систем для предотвращения аварийных ситуаций.

**Ключевые слова:** земляные работы, безопасность, интеллектуальные системы, автоматизированные системы, компьютерное зрение, обнаружение объектов.

R.A. Zhilin, G.M. Kartavcev, V.S. Hodcev

### **MODERN TECHNOLOGIES THAT ENSURE THE SAFETY AND STABILITY OF EARTHMOVING OPERATION**

The article presents an overview of technologies for improving the safety and sustainability of earthmoving operations at sites by creating intelligent and autonomous systems to prevent emergency situations.

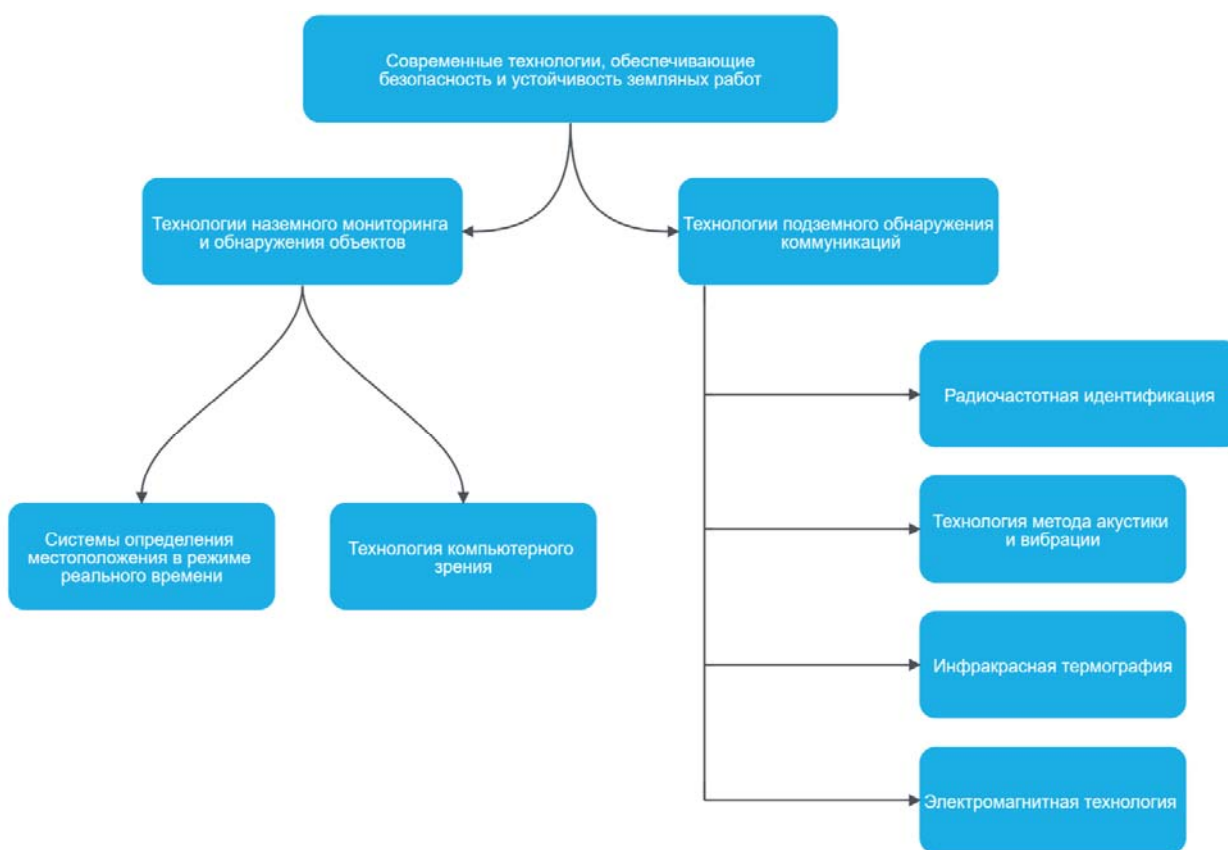
**Keywords:** ground works, safety, intelligent systems, automation system, computer vision, object detection.

Земляные работы являются неотъемлемой частью строительного процесса, однако они также являются источником опасностей для рабочих. Площадка для проведения земляных работ представляет собой сложную систему с динамически меняющейся средой и уникальными условиями, как и любая строительная площадка. Эксплуатация землеройного оборудования создает множество рисков для безопасности, приводящих к несчастным случаям, таким как травмы или смерти работников, повреждению оборудования. Во многих проектах, таких как строительство дорог, плотин или зданий, земляные работы занимают более 20% от общих затрат, поэтому несчастные случаи и перебои могут создавать серьезные финансовые риски. Основной проблемой безопасности при земляных работах является столкновение с другими объектами, такими как оборудование, рабочие,

конструкции. Рабочее пространство и минимальное расстояние между объектами планируются заранее, но динамичный и сложный характер системы делает планирование ненадежным. Проблема остается нерешенной, несмотря на внедрение инструкций по охране труда при выполнении земляных работ. Строительным фирмам необходимо искать инновационные стратегии для повышения безопасности систем земляных работ и устранения столкновений и непредвиденного ущерба подземным коммуникациям. Строительной отрасли требуется переход к созданию интеллектуальных адаптивных строительных площадок с автоматизированными и автономными системами.

Управление охраной труда в интеллектуальных и адаптивных системах достигается за счет применения стратегий предотвращения рисков безопасности, таких как несчастные случаи, которые имеют место быть в динамически меняющихся условиях труда. В ходе исследований были выявлены технологические инновации, которые могут оказать значительное влияние на обеспечение безопасности при земляных работ.

Технологии, которые обеспечивают мониторинг и обнаружение объектов на строительной площадке можно разделить на две группы: наземные технологии мониторинга и обнаружения и подземные технологии обнаружения коммуникаций.



**Рис. 1.** Иерархия технологий и методов обнаружения объектов

К числу наземных относятся:

1. Системы определения местоположения в реальном времени (Системы локального позиционирования). Предполагается использование новых технологий сбора данных для обнаружения объектов. В качестве таких технологий могут выступать глобальная система позиционирования (GPS) и радиочастотная идентификация (RFID), которые также называются системами определения местоположения в реальном времени (RTLS). Эти технологии позволяют преодолеть недостатки традиционных методов мониторинга.

Устройства позиционирования в реальном времени могут предоставлять данные о местоположении оборудования, рабочих машин и даже о перемещении рабочих. Однако такие данные не позволяют определить, находится ли техника в режиме ожидания или выполняет работу. Для этого необходимо определить положение оборудования и его состояние. Положение – это пространственный аспект, который представляет местоположение и ориентацию оборудования или машины в определенный момент времени. Например, три метки (датчика) RTLS и цифровой гироскоп могут устанавливать систему отсчета рабочего экскаватора. Такие данные будут ценны для планирования работ и предотвращения несчастных случаев.

2. Метод компьютерного зрения (computer vision). Основная цель - автоматическое распознавание и отслеживание объектов на площадке, таких как рабочие и строительная техника, для предотвращения аварий и повышения безопасности. Для этого используются камеры и алгоритмы обработки изображений, чтобы идентифицировать объекты, анализировать их местоположение, направление движения и другие параметры. Обычные камеры создают только двумерные проекции реального мира, что ограничивает анализ, однако имеется возможность подключать и другие устройства к системе для сбора дополнительных данных. В качестве альтернативы, трехмерные координаты могут быть получены с помощью систем захвата видео и звука, или же применения лазерного обнаружения и определения дальности (lidar). Интеграция компьютерного зрения в алгоритмы машинного обучения позволяют системе “учиться” распознавать и классифицировать объекты в сложных условиях (низкая освещенность, наличие пылевых частиц в воздухе). Система отслеживает перемещение объектов и людей вблизи рабочей техники и предупреждает о возможных столкновениях путем передачи сигнала оператору.

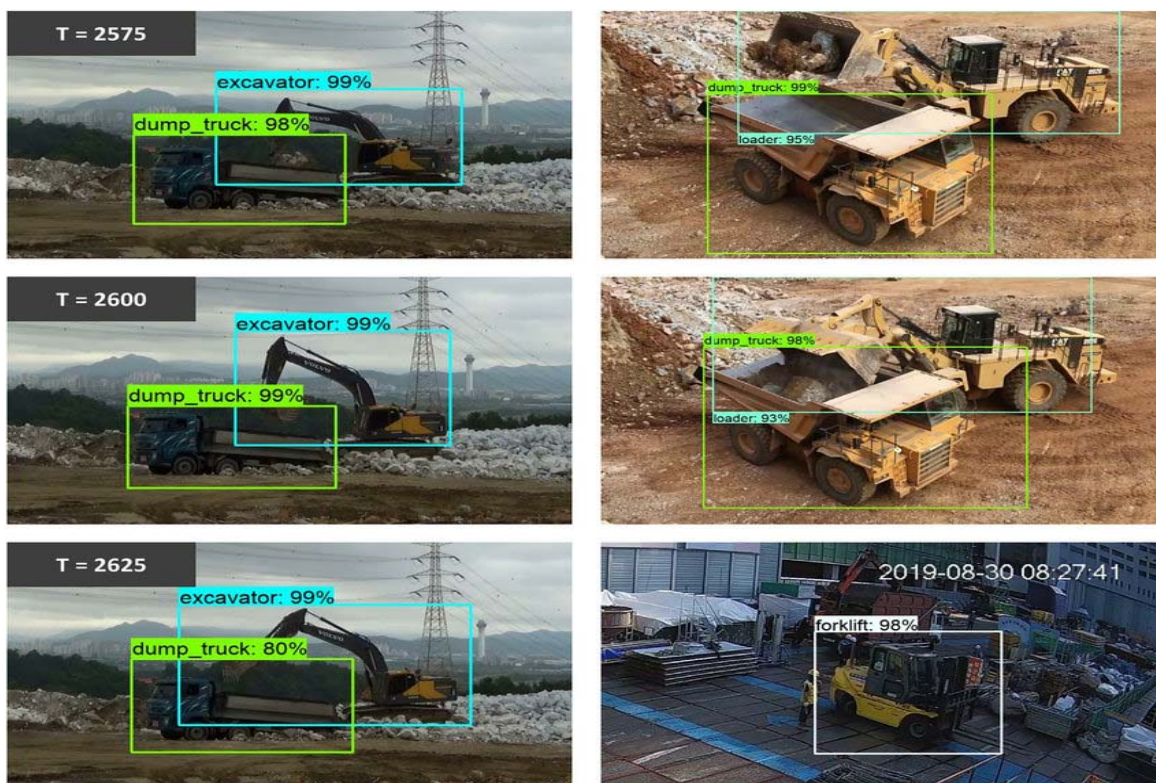


Рис. 2. Распознавание строительных объектов с помощью компьютерного зрения

Подземные методы обнаружения объектов, таких как трубы, кабелей и других коммуникаций играют ключевую роль в обеспечении безопасности при земляных работах. Эти методы помогают минимизировать риск повреждения подземной инфраструктуры.

Основные методы и технологии:

1. Радиолокационное зондирование грунта. Один из самых широко используемых неразрушающих методов для обнаружения подземных объектов. Эта технология посылает в почву электромагнитные волны, которые проходят через слои грунта и отражаются от объектов или изменений в структуре подземной среды. Эти отраженные сигналы регистрирует и интерпретирует радар, чтобы создать изображение или профиль, показывающий глубину и расположение подземных объектов.

2. Акустические и вибрационные методы применяются для обнаружения подземных объектов с использованием звуковых волн и вибраций. Эти методы полезны для выявления объектов в условиях, где другие методы могут быть неэффективны. Специальное оборудование генерирует звуковые и сейсмические волны, которые распространяются в грунте. В зависимости от типа объекта, его глубины и состава почвы отраженные волны имеют различную амплитуду и временные задержки. Эти характеристики фиксируются датчиками на поверхности, позволяя определить расположение и форму объекта. Акустические методы также могут использоваться для обнаружения утечек в трубопроводах: звуковые волны, отраженные от мест повреждений, позволяют локализовать точки утечки и оценить их размеры. К недостаткам данных технологий можно отнести уязвимость к помехам от других звуковых источников, что может снижать точность результатов, особенно на шумных строительных площадках.

3. Технология радиочастотных меток (RFID) - применяется для упрощенного и точного обнаружения подземных объектов с помощью радиочастотной идентификации. Этот метод включает использование RFID-меток, которые прикрепляются к новым или уже существующим подземным объектам и позволяет находить их при проведении ремонтных или строительных работ. RFID-метки содержат микросхемы и антенны, которые передают уникальные идентификационные данные при взаимодействии с RFID-ридером, расположенным на поверхности. RFID-технология также используется для создания карт подземных объектов и улучшения точности планирования строительных работ, что помогает снизить затраты и повысить безопасность. Недостатком данного метода является необходимость предварительной установки меток, поскольку старые объекты, не оснащенные этими метками, не могут быть обнаружены с его помощью.

4. Инфракрасная термография - используется для обнаружения подземных объектов за счет анализа температурных изменений на поверхности земли. Эта технология основывается на способности инфракрасных камер фиксировать тепловое излучение, исходящее от объектов, расположенных под поверхностью. Технология термографии позволяет находить активные коммуникации, такие как трубы с горячей водой или кабели под напряжением, а также может помочь в диагностике повреждений и утечек. Инфракрасные камеры фиксируют тепловое излучение в виде инфракрасного света, который невидим для человеческого глаза. Камера преобразует этот свет в визуальное изображение, отображающее температурные вариации на поверхности. Более теплые объекты будут выделяться на фоне окружающего грунта. К недостаткам относится ограниченная глубина обнаружения, влияние погодных условий и чувствительность только к объектам излучающим тепло.

Каждая из этих технологий имеет свои ограничения, и не существует универсального решения, подходящего для всех условий. Акустические и вибрационные методы могут быть эффективны на открытой местности, но менее точны в условиях сильного фона, поэтому возможно сочетание несколько методов для получения точных данных в различных условиях.

В современном мире важен процесс внедрения интеллектуальных технологий и автоматизации для повышения безопасности и устойчивости земляных работ. Использование современных методов способствует точному обнаружению подземных объектов и снижению риска их случайного повреждения. Применение автоматизированных и интеллектуальных систем позволяет создавать более адаптивные и безопасные строительные площадки, где управление рисками становится более предсказуемым и контролируемым. Эти технологии способствуют созданию комплексных решений, способных анализировать данные в реальном времени, предупреждать об опасностях и автоматически реагировать на потенциальные угрозы. Такой подход к управлению безопасностью минимизирует вероятность аварий, защищает инфраструктуру и обеспечивает устойчивое развитие строительной отрасли.

#### Библиографический список

1. Система локального позиционирования RTLS – <https://nvgn.ru/blog/rtls-sistema-opredeleniya-mestopolozheniya-v-realnom-vremeni/>
2. Умное строительство: как искусственный интеллект может повысить уровень безопасности на стройке. – <https://tech.news.am/rus/print/1026/>
3. Пассивная радиолокация: методы обнаружения объектов – Под редакцией Р.П. Быстрова и А.В.Соколова, Москва, “Радиотехника”, 2008
4. Искусственный интеллект, возможности и перспективы – <https://bimdata.ru/tpost/r1xl0hecl-iskusstvennii-intellekt-na-stroike-vozmo>
5. Под защитой AI. Как технологии повышают безопасность на производстве – <https://sber.pro/digital/publication/pod-zashchitoy-ai-kak-tekhnologii-povyshayut-bezopasnost-na-proizvodstve/>

#### References

1. Local Position System RTLS – <https://nvgn.ru/blog/rtls-sistema-opredeleniya-mestopolozheniya-v-realnom-vremeni/>
2. Smart Construction: How Artificial Intelligence Can Enhance Safety on Construction Sites. - <https://tech.news.am/rus/print/1026/>
3. Passive Radar: Object Detection Methods – Edited by R.P. Bystrov and A.V. Sokolov, Moscow, "Radiotekhnika," 2008
4. Artificial Intelligence: Opportunities and Prospects – <https://bimdata.ru/tpost/r1xl0hecl-iskusstvennii-intellekt-na-stroike-vozmo>
5. Under the Protection of AI: How Technologies Enhance Safety in Manufacturing. – <https://sber.pro/digital/publication/pod-zashchitoy-ai-kak-tekhnologii-povyshayut-bezopasnost-na-proizvodstve/>

# **ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ, МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ**

УДК 005.8

*Воронежский государственный  
технический университет  
Студенты дорожно-транспортного  
факультета  
В.А. Лобков,  
e-mail: lobkov\_313@mail.ru  
В.В. Щербинин,  
e-mail: vladimirexec@gmail.com  
Н.О. Стеганцов,  
e-mail: nikita.stegancovw@gmail.com  
А.А. Чуев,  
e-mail: sir.chuev@yandex.ru  
Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
профессора Н.А. Ульянова  
Н.М. Волков  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 271-59-18  
e-mail: volkne@bk.ru*

*Voronezh State  
Technical University  
Students of the Faculty of Road Transport  
Faculty  
V.A. Lobkov,  
e-mail: lobkov\_313@mail.ru  
V.V. Shcherbinin,  
e-mail: vladimirexec@gmail.com  
N.O. Stegantsov,  
e-mail: nikita.stegancovw@gmail.com  
A.A. Chuev,  
e-mail: sir.chuev@yandex.ru  
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the chair  
construction machinery and engineering me-  
chanics of a name of professor N.A. Ulyanov  
N.M. Volkov  
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 271-59-18  
e-mail: volkne@bk.ru*

В.А. Лобков, В.В. Щербинин, Н.О. Стеганцов, А.А. Чуев, Н.М. Волков

## **АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛА ОТ РЖАВЧИНЫ В УСЛОВИЯХ РЕМОНТНОЙ МАСТЕРСКОЙ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Рассматривается сравнительный анализ использования разных методов очистки металла от ржавчины. Подготовлено структурное исследование различных преимуществ и недостатков этих способов. Даны рекомендации по выбору оптимальных способов применения их в условиях ремонтных мастерских различных организаций.

**Ключевые слова:** очистка, металл, ржавчина.

V.A. Lobkov, V.V. Shcherbinin, N.O. Stegantsov, A.A. Chuev, N.M. Volkov

## **ANALYSIS OF APPLICATION OPTIONS FOR METAL RUST CLEANING METHODS IN A REPAIR SHOP OF A MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE**

A comparative analysis of the use of different methods of cleaning metal from rust is considered. A structural study of the various advantages and disadvantages of these methods is prepared. Recommendations are given on the selection of optimal methods of their application in the conditions of repair shops of various organizations.

**Keywords:** cleaning, metal, rust.

В процессе эксплуатации автотранспорта часто возникает проблема устранения ржавчины на металлических поверхностях. Это явление может привести к уменьшению срока службы автомобилей, а также ухудшить их внешний вид и затруднить ремонт и обслуживание. Поэтому важной задачей для ремонтных мастерских автотранспортных предприятий является использование эффективных методов очистки металла от ржавчины.

Коррозия – является большой проблемой любых металлических изделий и автотранспорт не стал исключением. Ремонтным мастерским издавна приходится сталкиваться с необходимостью устранения ржавчины с поверхности металла. Технологи по всему миру стараются придумать более совершенные и качественные способы выполнения этого процесса.

Самый распространенный способ очистки металла от коррозии является механический с использованием электрического оборудования. Для этого обычно используются абразивные круги или щётки, которые приводятся в движение с помощью электрических или пневматических инструментов. Скорость и сила очистки в таких случаях зависят от размера абразивных частиц, которые часто варьируются от 4 мкм до 1 мм. Такая процедура требует значительных физических усилий и занимает часы рабочего времени. Себестоимость такого способа минимальная из всех возможных вариантов, но качество результата подойдет только в случае, когда визуальная составляющая не имеет значения. К весомым минусам данного способа так же стоит отнести необходимость после окончания обработки проводить очистку готовой поверхности и рабочего места от больших отложений пыли. Для защиты рабочего требуется хорошая вентиляция и системы очистки вдыхаемого воздуха.

Менее распространенным, но все еще устаревшим, является способ очистки с использованием химических средств. Он также требует наличие хорошей вентиляции для защиты дыхательных путей человека, но и к тому же наличие химического костюма для ограничения воздействия на кожу и слизистые тела. Данный способ заключается в обработке поверхности пораженной коррозией специальным химическим составом, который на молекулярном уровне разрушает и удаляет ржавчину. Поверхность металла становится чистой и не имеет следов воздействия, что является лучшим результатом по сравнению с механической обработкой. Цена данного процесса не сильно отличается от предыдущего способа, но требует больших площадей под выполнение процессов очистки и более серьезных мер предосторожностей для сохранения здоровья рабочего.

Пескоструйный или дробеструйный метод очистки металла заключается в использовании установки, которая подает под давлением воздушно-песчаную смесь и механически отбивает слой ржавчины от металла. Для использования данного способа требуется подготовленная камера, внутри которой будет происходить процесс очистки, из-за чего сильно повышается стоимость этого способа. Очищать большие поверхности данным способом является не рациональным, а соответственно он является узконаправленным.

Более современным является лазерный метод очистки металла. Он базируется на принципе использования лазерного луча, который направляют на пораженный участок металла. Лазер, температурным воздействием разрушает кристаллическую решетку ржавчины, не оставляя следов на поверхности детали. При правильной настройке аппарата металл в месте воздействия почти не нагревается и соответственно не подвержен искривлению. Этот способ лишен почти всех недостатков других методов. Он не требует постоянных расходных материалов, для работы с ним не нужна специальная подготовка помещения, этот способ позволяет очищать даже самые труднодоступные места, а качество является лучшим. Минусами подобной очистки является потребность в более квалифицированном рабочем и стоимость самой установки, которая превышает 1,5 миллиона рублей.



**Рис. 1.** Процесс использования лазерной установки на поршне автомобиля

Еще одним современным способом очистки металла от коррозии может быть криобластинг. Метод не сильно отличается от пескоструйного, ведь использует модифицированную установку для такой очистки, но вместо песка используется сухой лед. Этот способ очень узконаправленный в связи с его стоимостью, но имеет весомый плюс по сравнению с любыми другими способами. Этот метод позволяет очищать металл, находящийся под напряжением, так как сухой лед не проводит электричество, а при столкновении с металлом моментально испаряется и не оставляет влаги.

| Наименование способа                    | Скорость очистки (мин/м <sup>2</sup> ) | Возможность очистки скрытых полостей (есть/нет) | Качество поверхности готовой детали (с крупными дефектами/с мелкими дефектами/без дефектов) | Наличие дополнительного оборудования и помещения (оборудование и помещение/оборудование/помещение) | Цена расходников на 1 м <sup>2</sup> (руб.) | Цена аппарата (руб.) |
|---|--|---|---|--|---|----------------------|
| Механический                            | 66                                     | Нет   | С крупными дефектами  | Оборудование и помещение   | 500   | 2000                 |
| Химический                              | 40                                     | Да  | Без дефектов  | Оборудование и помещение   | 100   | 1000                 |
| Пескоструйный/дробеструйный             | 83                                     | Нет   | С мелкими дефектами   | Оборудование и помещение   | 30  | 70000                |
| С использованием лазерного оборудования | 7                                      | Нет   | Без дефектов  | Нет  | 2   | 1100000              |
| Криобластинг                            | 83                                     | Нет   | Без дефектов  | Нет  | 80  | 1000000              |

**Рис. 2.** Сравнительная таблица методов очистки металла от ржавчины

Был проведен сравнительный анализ представленных способов, выделены преимущества и недостатки очистки металла от ржавчины в условиях ремонтной мастерской автотранспортного предприятия. Механический и химический способы хоть на первый взгляд и кажутся дешевыми и простыми, имеют ряд серьезных недостатков в частности потребность в тщательной подготовке помещения и оператора. Также имеют завышенную стоимость в обработки 1 м<sup>2</sup>. Пескоструйный метод очистки в свою очередь подходит для обработки больших площадей

за среднюю стоимость расходных материалов и покупки оборудования, но не лишен недостатков вышеописанных способов ввиду сложности подготовки помещения. Криобластинг является узкоспециализированным способом, так как единственный позволяет обрабатывать металлы под напряжением и применение его в условиях автотранспортного предприятия не целесообразно. Лазерное оборудование имеет высокую стоимость, но при этом требует минимальных дополнительных вложений и его применение при обслуживании и ремонтах в автотранспортных предприятиях предпочтительно, несмотря на высокие затраты.

### Вывод

Для малых мастерских с узкой направленностью работ рекомендовано использование одного из описанных способов в зависимости от специализации. В случае малых мастерских с разной направленностью работ наибольшую эффективность покажет комбинирование механического, пескоструйного и, при достаточном финансировании, лазерного способов очистки металла. Что касается средних и больших, с высокими объемами работ по удалению ржавчины, следует использовать все описанные способы, в том числе закупку передовых устройств с высоким КПД. Таким образом, использование традиционных и инновационных устройств для очистки металлов от коррозии в организациях, занимающийся техническим обслуживанием и ремонтом автотранспорта, является востребованным и актуальным и ведет к улучшению качества и сокращению времени работ.

### Библиографический список

1. Исследование научного отделения журнала “За рулем” о способах борьбы с ржавчиной. – URL: <https://www.zr.ru/content/articles/924470-kak-spravitsya-s-pyatnom-rzhavchi/>
2. Терминология описывающая варианты устранения ржавчины. – URL: <https://ingibitory.ru/dictionary/>
3. Описание метода удаления ржавчины лазером. – URL: <https://laserstore.ru/blog/chto-takoe-lazernaja-ochistka-metalla>.
4. Гид по технологиям и профилактике кузова автомобиля от коррозии. – URL: <https://t-zinc.ru/o-kompanii/stati/metodyi-zashhityi-avto-ot-korrozii.html>

### References

1. Research by the scientific department of the magazine “Behind the Wheel” on methods of combating rust. – URL: <https://www.zr.ru/content/articles/924470-kak-spravitsya-s-pyatnom-rzhavchi/>
2. Terminology describing options for removing rust. – URL: <https://ingibitory.ru/dictionary/>
3. Description of the method of removing rust with a laser. – URL: <https://laserstore.ru/blog/chto-takoe-lazernaja-ochistka-metalla>.
4. Guide to technologies and prevention of car body corrosion. – URL: <https://t-zinc.ru/o-kompanii/stati/metodyi-zashhityi-avto-ot-korrozii.html>

*Воронежский государственный  
технический университет,  
Студентка гр. збЭУН-201 М.А. Сотникова  
Россия, г. Воронеж  
Воронежский государственный техниче-  
ский университет,  
Студентка гр. бЗИК-231 А.Д. Самойлова  
Россия, г. Воронеж  
Воронежский государственный техниче-  
ский университет,  
Инженер Академии развития строитель-  
ного комплекса  
А.Ю. Крючков  
Россия, г. Воронеж  
Воронежский государственный техниче-  
ский университет,  
Канд. экон. наук, менеджер инновационного  
бизнес-инкубатора им. Ю.М. Борисова  
И.А. Потехин  
Россия, г. Воронеж,  
E-mail: potekhin\_300587@mail.ru*

*Voronezh State  
Technical University  
Student gr.zbEUN-201 M.A. Sotnikova  
Russia, Voronezh  
Voronezh State  
Technical University  
Student gr.bZIK-231 A.D. Samoilova  
Russia, Voronezh  
Voronezh State  
Technical University  
Engineer in Academy for Construction Com-  
plex Development  
A.Yu. Kryuchkov  
Russia, Voronezh  
Voronezh State  
Technical University  
D.Sc.(Economy), manager of business-  
incubator by prof. Yu.M. Borisov  
I.A. Potekhin  
Russia, Voronezh  
E-mail: potekhin\_300587@mail.ru*

М.А. Сотникова, А.Д. Самойлова, А.Ю. Крючков, И.А. Потехин

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОРРОЗИИ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОЛИСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

В статье анализировались химические процессы и опыт борьбы с коррозией легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК). Конструкции из ЛСТК все более широко применяются при возведении жилых и промышленных зданий и сооружений. Отмечаются частые случаи значительной коррозии конструкций из ЛСТК.

**Ключевые слова:** ЛСТК, химическая коррозия, исследование причин коррозии, защита от коррозии, условия эксплуатации.

М.А. Sotnikova, A.D. Samoilova, A.Yu. Kryuchkov, I.A. Potekhin

### **INVESTIGATION OF CORROSION FEATURES OF LIGHT STEEL SHEET STRUCTURES**

The article analyzed chemical processes and experience in combating corrosion of light thin-walled steel structures (LSTS). LSTC structures are increasingly used in the construction of residential and industrial buildings and structures. There are frequent cases of significant corrosion of LSTC structures.

**Keywords:** LSTC, chemical corrosion, investigation of the causes of corrosion, corrosion protection, operating conditions.

Целью статьи является исследование особенностей коррозии легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК, термопрофиль). В настоящее время, расширяется масштаб применения ЛСТК при возведении сооружений и зданий. Началом использования такого материала было конструирование декоративных элементов интерьера из гипсокартона. Затем стали использовать ЛСТК в подвесных потолках. Все более широкое применение началось с 2010 года, когда производители ЛСТК стали опубликовывать методики для проектировщиков и каталог выполненных проектов жилых и промышленных зданий, а также сооружений [1]. Несмотря на широкую рекламу и распространенность в продаже таких материалов, их характеристики, показатели надежности и аварийные случаи мало изучены в научной литературе [4-11]. Одним из вопросов, касающихся надежности конструкций, является коррозионная стойкость и способы ее повышения. Задачами данной статьи является исследование опыта ученых, связанного с описанием характера коррозии и защиты от нее ЛСТК.

В настоящий момент, на ЛСТК существует нормативный документ – СП 260.1325800.2023 – свод правил «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования» [2]. Данный документ определяет ассортимент профилей, их несущую способность и способы проектирования отдельных узлов и зданий в целом из этого материала. Больше нормативных документов, напрямую описывающих свойства ЛСТК нет. Существует три стандарта, косвенно касающиеся ЛСТК, так как они сделаны из стального сплава, но в целом, они регулируют стандартные металлические толстостенные конструкции и способы защиты их от коррозии. Это следующие нормативные документы [3, 4, 5]:

- СП 16.13330.2017. Стальные конструкции Steel structures;
- СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии;
- ГОСТ 9.602-2016 Единая система защиты от коррозии и старения.

Согласно данным нормативного документа [2] и каталогов производителей, представленных на сайте Ассоциации развития стального строительства [1], ЛСТК обладает следующими характеристиками:

Конструкции из этих профилей допускается применять при следующих условиях:

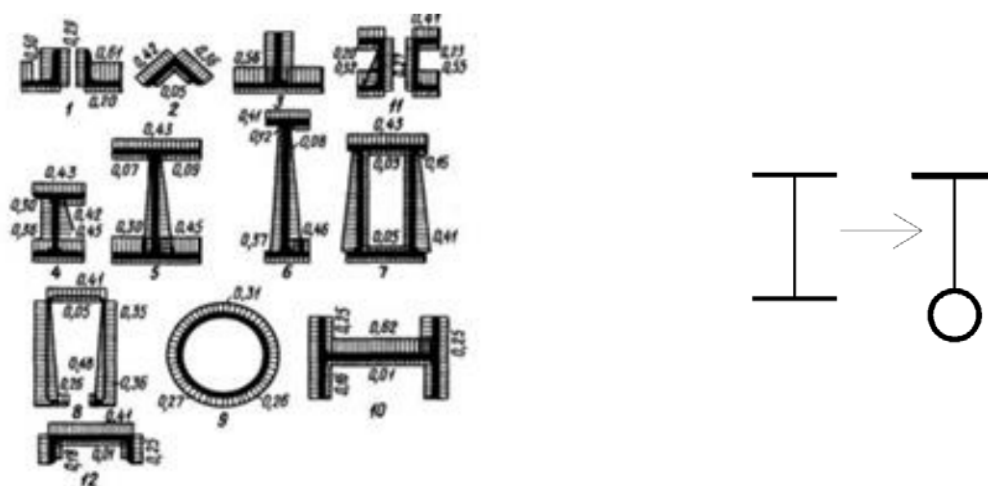
- в климатически районах с расчетной температурой наружного воздуха не ниже  $-55^{\circ}\text{C}$  и не выше  $+100^{\circ}\text{C}$ , при влажности воздуха не более 65%;
- при неагрессивном или слабоагрессивном воздействии среды, отвечающей требованиям СНиП 2.03.11;
- в I-V ветровых районах и I-V снеговых районах в соответствии с СП20.13330.2011;
- в районах с сейсмичностью не более 9 баллов.

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 9.008, а также следующие термины с соответствующими определениями:

- цинковое покрытие; Ц: Покрытие, полученное на поверхности проката при погружении его в расплав цинка;
- железоцинковое покрытие; ЖЦ: Покрытие, полученное в результате отжига проката с цинковым покрытием, содержащее 8 — 12 % железа, серого цвета, без узора кристаллизации и блеска;
- цинкалюминиевое покрытие; ЦА: Покрытие, полученное на поверхности проката при погружении его в цинкалюминиевый расплав.
- цинкалюмомагниевого покрытие; ЦАМ: Покрытие, полученное на поверхности проката при погружении его в цинкалюмомагниевого расплав.
- цинковое покрытие с нормальным узором кристаллизации; Н [1, 2, 3, 4].

Рассмотрим вопрос долговечности конструкций из ЛСТК. Согласно СП 28.13330.2017 [4]: «Долговечность любых зданий и сооружений из металлоконструкций определяется скоростью коррозии стального несущего каркаса, которая, в свою очередь, зависит от характеристик защитного покрытия и физико-химических параметров среды эксплуатации». ЛСТК имеет за-

водскую защиту – слой цинка толщиной 19 мкм (275 гр/кв.м), и в большинстве случаев, такой профиль реализуется оцинкованным [5]. За редким исключением ЛСТК сделан без гладкого блестящего покрытия. Конструкции могут находиться внутри или вне помещения, либо вообще быть заэкранированы от окружающей среды, находясь внутри ограждающей конструкции. Этот вариант используется в большинстве промышленных зданий, складов, ангаров. В этом случае скорость коррозии определяется температурой, влажностью и химическим составом воздуха в помещении. В отапливаемых зданиях среда, как правило, является неагрессивной. В промышленных зданиях на ЛСТК воздействуют постоянно высокая влажность и технологические выбросы коррозионно-активных газов. В условиях уличного использования конструкций из ЛСТК, скорость коррозии оценивается, исходя из климатических характеристик атмосферы (температуры, влажности, количества осадков) и ее состава — уровня загрязнения коррозионно-активными веществами (диоксид серы, хлориды) [6]. Согласно исследованиям Института Физической химии и электрохимии РАН, основанным на долговременном мониторинге образцов оцинкованной стали в натуральных условиях и на актуальных данных о климате и химическом составе атмосфер, практически на всей территории России (за исключением ряда самых экологически неблагоприятных промышленных городов и прибрежных районов), срок службы цинкового покрытия толщиной 19 мкм составляет более 50 лет. Кафедрой защиты металлов и технологии поверхности НИТУ МИСиС [7]. По результатам испытаний срок службы конструкций из ЛСТК в среде сверхлегкого пенобетона плотностью 200-300 кг/куб.м составляет 50 и более лет, что соответствует требованиям к сроку службы жилищно-гражданских строений согласно ГОСТ Р 54257-2010 «Надежность строительных конструкций и оснований» [8]. На основании коррозионных испытаний и теплотехнических исследований была оценена скорость потери цинка в конструкциях, защищенных от атмосферных воздействий пенобетоном. Установлено, что эта скорость составит не более 0,5 мкм/год в течение первых 2-5 лет эксплуатации и уменьшится до 0,3 мкм/год в последующие годы за счет образования защитной оксидной пленки на поверхности цинка. В процессе эксплуатации зданий и сооружений можно заметить, что балки открытых профилей обладают невысокой коррозионной стойкостью, что в условиях воздействия агрессивной среды приводит к потере несущей способности до окончания срока эксплуатации. Наиболее благоприятным с точки зрения меньшего коррозионного износа и большей равномерности коррозии является сечение в виде круглых и прямоугольных труб, которые можно использовать в качестве нижнего пояса балки [9].



**Рис. 1.** Особенности коррозии различных сечений стальных профилей:  
 а) распределение коррозии по периметру сечения стальных профилей;  
 б) цифры обозначают потери веса пластинок от коррозии в граммах

Рассмотрим возможные способы защиты ЛСТК. Проведены предварительные испытания, результаты которых показали, что наиболее эффективной мерой защиты стальных образцов от коррозии является оцинковка с дополнительным лакокрасочным покрытием. Одинарное цинковое покрытие хуже защищает сталь от коррозии, чем покрытие только лакокрасочным составом, вероятно по причине электрохимических процессов. Оценка долговечности металлических конструкций производственных зданий с учетом деградации механических свойств сталей из-за коррозии. Методика оценки долговечности металлоконструкций, которая заключается в отыскании момента времени, после которого уменьшение размеров поперечных сечений и падение прочности строительных сталей приводят к исчерпанию несущей способности конструкций. Невозможно не учитывать фактор снижения механических свойств сталей под влиянием агрессивной среды (коррозии) [10, 11].

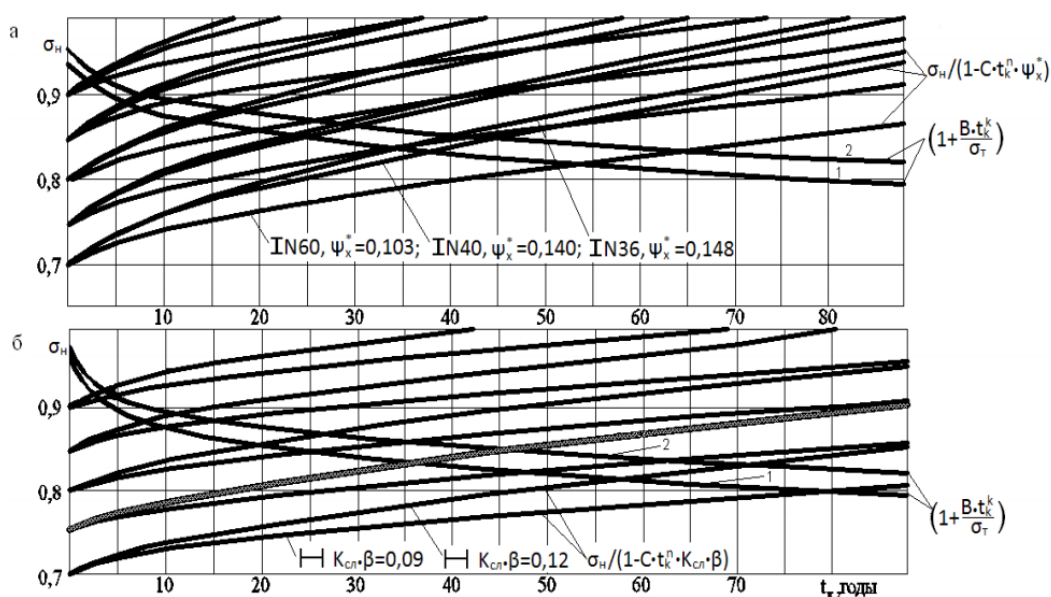


Рис. 2. Номограммы долговечности конструкций промышленных зданий:  
а – балки; б – колонны, изготовленные из стали 092С

## Выводы

1. В условиях эксплуатации ЛСТК на открытой атмосфере, рекомендуется покрывать конструкции лакокрасочным покрытием, так как проведение горячего оцинкования невозможно осуществить не в условиях завода.
2. Необходимо уменьшить совместное применение ЛСТК и пенобетона, либо нанести изолирующий слой между этими материалами. Так как контакт стальных профилей с пористой средой, содержащей влагу, увеличивает скорость коррозии металла.
3. Необходимо учитывать особенности климата, такие как режимы «нагрев-охлаждение», режим образования «росы», режим «высушивания», свойства материалов при постоянных температурах эксплуатации.

## Библиографический список

1. Ассоциация развития стального строительства: [www.steel-development.ru](http://www.steel-development.ru).
2. СП 260.1325800.2023 – свод правил «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутой оцинкованной профилей и гофрированных листов. Правила проектирования».
3. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции Steel structures.
4. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии.

5. ГОСТ 9.602-2016 Единая система защиты от коррозии и старения.
6. Простакишина Д.А. Защита конструкций из ЛСТК от коррозии // В сборнике: Новые технологии - нефтегазовому региону. Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2017. С. 148-152.
7. Дамоцев Г.Ю. Анализ выбора толщины защитного слоя стальных тонкостенных конструкций от коррозии // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 33. С. 1578-1583.
8. Ананина М.В., Бересенева Н.А., Шуровкина Л.Л. Влияние коррозии на легкие стальные тонкостенные конструкции // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 7 (22). С. 54-70.
9. Кузнецова В.Ю., Барабанщиков Ю.Г. Коррозия стальных тонкостенных профилей в ограждающих конструкциях // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 5 (44). С. 7-18.
10. Никитин С.А., Щиенко А.Н., Ндой Х. Сравнение результатов аналитических и экспериментальных исследований по определению уровня шума в кабине технологической машины // Высокие технологии в строительном комплексе. 2023. № 1. С. 149-155.
11. Кукина О.Б., Слепцова О.В., Хорохордина Е.А., Рудаков О.Б. Аналитическая химия // Электронный ресурс / (2-е издание, переработанное и дополненное) Воронеж, 2022.

#### References

1. Association of Steel construction development: [www.steel-development.ru](http://www.steel-development.ru).
2. SP 260.1325800.2023 — code of rules "Thin-walled steel structures made of cold-rolled galvanized profiles and corrugated sheets. Design rules".
3. SP 16.13330.2017. STEEL structures Steel structures.
4. SP 28.13330.2017. Protection of building structures from corrosion.
5. GOST 9.602-2016 Unified corrosion and aging protection system.
6. Prostakishina D.A. Protection of LSTC structures from corrosion // In the collection: New technologies for the oil and gas region. Materials of the International Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists. 2017. pp. 148-152.
7. Damotsev G.Yu. Analysis of the choice of the thickness of the protective layer of thin-walled steel structures against corrosion // Innovations. Science. Education. 2021. No. 33. pp. 1578-1583.
8. Ananina M.V., Bereseneva N.A., Shurovkina L.L. The effect of corrosion on light steel thin-walled structures // Construction of unique buildings and structures. 2014. No. 7 (22). pp. 54-70.
9. Kuznetsova V.Yu., Barabanshchikov Yu.G. Corrosion of thin-walled steel profiles in enclosing structures // Construction of unique buildings and structures. 2016. No. 5 (44). pp. 7-18.
10. Nikitin S.A., Shienko A.N., Ndoi Kh. The comparison of results of analytic and experimental investigations for detective sound level in the technological machine cockpit // High technologies in construction complex. 2023. № 1. pp. 149-155.
11. Kukina O.B., Sleptsova O.V., Khorokhordina E.A., Rudakov O.B. Analytical chemistry // Electronic resource / (2nd edition, revised and expanded) Voronezh, 2022.