

# ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Научно-технический журнал

№1 2022



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**
- **PHISICALAND CHEMICAL PROCESSESIN ENVIROMENTS, MATERIALS AND PRODUCTS**

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

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

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

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

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

## Научно-технический журнал

### ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. В.А. Жулай  
Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. Ю.Ф. Устинов  
Ответственный секретарь – канд. техн. наук., доц. А.Н. Щиенко

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Д-р техн. наук, проф. Вл.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, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Мершиев А.А., Лобанов Д.В., Шепс Р.А., Бурак Е.Э.</b> Влияние коэффициента остекленности на удельную характеристику расхода тепловой энергии зданий ....	7
---	---

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

<b>Жабцев А.В., Строкин А.С.</b> Анализ влияния полимерно-битумных вяжущих на свойства дорожных битумов.....	12
<b>Слободянюк Т.Р., Гамаюнова О.С.</b> Вторичное использование строительных отходов .....	18

### АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

<b>Лобанов Д.В., Мершиев А.А., Звенигородский И.И.</b> Необходимость комплексного подхода при архитектурном проектировании здания .....	27
---	----

### ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

<b>Габриелян Г.Е., Волокитина А.В., Габриелян М.А., Макаренкова Ю.А.</b> Краткий научный обзор методов расчёта металлических гофрированных водопропускных труб под насыпями автодорог .....	31
<b>Китаев Д.Н., Бакай А.С., Моросников В.Ф.</b> Уточнение расчета коэффициента полезного действия парового котла .....	36
<b>Шишов К.В., Климова Е.В.</b> Анализ показателей водопотребления муниципальных образований республики Крым и Краснодарского края в нормативной документации .....	41

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

<b>Волков И.Н., Габриелян М.А., Волков С.Н., Кривобоков С.В., Подвигин Р.Е., Волков Н.М.</b> Анализ стратегий и способов борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах .....	50
<b>Волокитина О.А., Волков И.Н., Волокитина А.В., Габриелян М.А., Макаренкова Ю.А.</b> Анализ существующих методов проектирования нерегулируемых пересечений и примыканий автомобильных дорог .....	55

### МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

<b>Жилин Р.А., Августинovich В.Г., Новиков С.Е.</b> Моделирование зубчато-рычажного механизма .....	61
---	----

<b>Жилин Р.А., Картавец Г.М., Ходцев В.С.</b> Особенности моделирования двигателя Стирлинга .....	64
<b>Жулай В.А., Спасибухов Ю.Н., Тюнин В.Л., Щиенко А.Н., Розанов С.Н.</b> Вибрационное диагностирование карданных передач землеройно-транспортных машин .....	68
<b>Зорин В.А., Ростамиан Мохаммад.</b> Анализ особенностей производства дорожно-строительной техники в Иране.....	74
<b>Зорин В.А., Та НгокТханг.</b> Проектирование материала деталей трения рабочего оборудования строительных машин .....	79
<b>Серов А.А., Рогов А.М., Колмаков Н.Ю.</b> Особенности использования навесного оборудования гидромолот и его влияние на рабочее оборудование базовой машины .....	83
<b>Тарасов Е.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Никитин С.А., Щиенко А.Н., Серов А.А., Жерносек И.В.</b> Пример исследования редуктора ведущего моста транспортного средства КАМАЗ.....	89
<b>Тарасов Е.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Никитин С.А., Щиенко А.Н., Серов А.А., Жерносек И.В.</b> Пример исследования рулевой рейки автомобиля Шкода Октавия .....	99
<b>Тарасов Е.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Никитин С.А., Щиенко А.Н., Серов А.А., Жерносек И.В.</b> Пример исследования редуктора заднего моста транспортного средства Mitsubishi Pajero Sport.....	106
<b>Тарасов Е.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Никитин С.А., Щиенко А.Н., Серов А.А., Жерносек И.В.</b> Пример исследования автомобиля, получившего повреждения в результате ДТП .....	116
<b>Тарасов Е.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Никитин С.А., Щиенко А.Н., Кириенко А.В.</b> Пример определения скорости движения автомобиля ВАЗ 2114 .....	125
<b>Тарасов Е.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Никитин С.А., Щиенко А.Н., Тарасова Е.В., Насонов Н.А.</b> Пример заключения эксперта по установлению причины выхода из строя колесных дисков мусоровоза .....	130
<b>Тюнин В.Л., Щиенко А.Н., Щетилов К.С., Гурова А.С., Черников В.С.</b> Экспериментальные исследования проскальзывания одноосного колёсного движителя ....	156
<b>Устинов Ю.Ф., Ульянов А.В., Кранин М.А., Лавлинский А.Г., Савинков В.А., Уразов А.Ю.</b> Снижение виброакустической энергии транспортно-технологических машин .....	162
<b>Фомин В.И.</b> Расчет циклической нагруженности подшипников качения с учетом вращательной подвижности их колец.....	175
<b>Хрипушин И.А., Башкатов Е.В.</b> Подготовка исходных данных для расчетного метода подтверждения показателей надежности.....	181

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

<b>Еремин А.В., Волокитин В.П., Абрамов Ф.М.</b> Использование программного комплекса ЛИРА-САПР для проверки аналитического расчета фермы.....	186
<b>Семенова Э.Е., Абдулхамидов Ф.С.</b> Анализ проектирования наружных ограждающих конструкции для регионов с жарким климатом.....	191

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ**

<b>Макеева Д.А., Кралин А.К.</b> Перспективы использования автономных энергетических комплексов, расположенных на породных отвалах .....	195
--	-----

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

<b>Краснова М.Н., Новопольцев С.Д., Жидких Н.С., Ласкин Н.С.</b> Восстановление рабочих поверхностей колеса магистрального насоса.....	202
<b>Михеев Г.В.</b> Применение технологий автоматизации и роботизации в строительстве .....	209
<b>Попов И.Р., Гамаюнова О.С.</b> Применение лазерного сканирования при обследовании уникальных зданий .....	215

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 628.921

*Воронежский государственный  
технический университет  
старший преподаватель кафедры «Жилищ-  
но-коммунального хозяйства»  
Мерциев Александр Александрович  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92  
e-mail: sasha\_\_1990@mail.ru  
старший преподаватель кафедры «Жилищ-  
но-коммунального хозяйства»  
Лобанов Дмитрий Валерьевич  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92  
e-mail: ldv-36@mail.ru  
к.т.н., доцент кафедры  
«Жилищно-коммунального хозяйства»  
Шепс Роман Александрович  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92  
e-mail: romansheps@yandex.ru  
к.т.н., доцент кафедры  
«Жилищно-коммунального хозяйства»  
Бурак Екатерина Эдуардовна  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92  
e-mail: burak.e@mail.ru*

*Voronezh State  
Technical University  
Senior Lecturer of the Department of Housing  
and Communal Services  
Mershchiev Alexander Alexandrovich  
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92  
e-mail: sasha\_\_1990@mail.ru  
Senior Lecturer of the Department of Housing  
and Communal Services  
Lobanov Dmitry Valerievich  
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92  
e-mail: ldv-36@mail.ru  
Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor of the Department of Housing and  
Communal Services Sheps Roman Alexandrovich  
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92  
e-mail: romansheps@yandex.ru  
Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor of the Department of Housing and  
Communal Services Burak Ekaterina Eduardovna  
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92  
e-mail: burak.e@mail.ru*

А.А. Мерциев, Д.В. Лобанов, Р.А. Шепс, Е.Э. Бурак

### ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОСТЕКЛЕННОСТИ НА УДЕЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЗДАНИЙ

Коэффициент остекленности играет важную роль в расчете энергоэффективности здания и систем обеспечения микроклимата. Поскольку стекло само по себе является плохим теплоизолятором, увеличение фасадного остекления неизбежно приводит к увеличению затрат на отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха в здании и, как следствие, к увеличению эксплуатационных расходов. В данной работе рассмотрены здания на территории центральной России с низким и высоким коэффициентом остекленности. Было выявлено, что здания с высоким коэффициентом остекленности подвержены возникновению дополнительных нагрузок в виде температурного напряжения на отдельных внутренних поверхностях ограждающих конструкций помещений. Авторами предлагается при составлении теплового баланса помещения дополнительно рассчитывать коэффициент остекленности здания.

**Ключевые слова:** коэффициент остекленности, энергоэффективность, светопрозрачные конструкции, класс энергоэффективности, тепловые потери.

## THE EFFECT OF THE GLAZING FACTOR ON THE SPECIFIC HEAT CONSUMPTION CHARACTERISTIC OF BUILDINGS

The glazing factor plays an important role in calculating the energy efficiency of a building and its climate control systems. Since glass itself is a poor insulator, an increase in facade glazing inevitably leads to an increase in the cost of heating, ventilation and air conditioning in the building and, as a consequence, to an increase in operating costs. This paper considers buildings in central Russia with low and high glazing coefficients. It was found that buildings with a high glazing factor are subjected to additional loads in the form of thermal stress on some internal surfaces of the enclosing structures of the premises. The authors propose when drawing up a thermal balance of the premises to additionally calculate the glazing factor of the building.

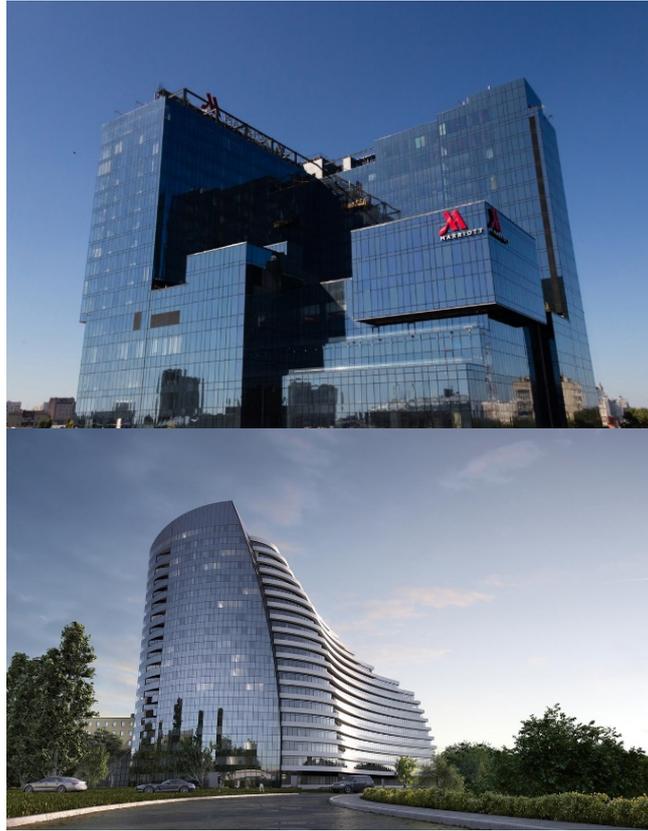
**Keywords:** glazing factor, energy efficiency, translucent structures, energy efficiency class, heat losses.

При проектировании и возведении современных экологических и энергоэффективных зданий важнейшую роль играет выбор материалов и проектных решений с использованием больших остекленных поверхностей [1-3]. При этом стараются максимально учесть тепловые потери через остекленные поверхности и влияние инсоляции на тепловой режим в зависимости от ориентации строения. Остекление, выходящее на север, лучше подходит для улавливания солнечной энергии зимой, когда солнце низко в небе, и его легче затенять от прямых солнечных лучей летом, когда солнце высоко в небе. Проектирование световых люков может привести к перегреву, так как они наиболее эффективны летом, и их трудно затенить. Окна, выходящие на восток и запад, пропускают утреннее и вечернее солнце, которое может вызывать блики (утром или вечером) и перегрев (вечером). Остекление также можно ограничить по размеру, но такое решение может быть нежелательно, например, из-за уменьшения панорамы обзора. Остекление, выходящее на север, не получает прямого солнечного света, и поэтому потеря тепла через него никак не компенсируется солнечным излучением. Окна, выходящие на север (в северном полушарии), обычно требуются только для освещения, но для этого не нужны большие размеры. Наиболее интересная архитектура часто возникает из стремления проектировщика найти компромисс между воздействием солнца и внешним видом здания. При этом здание должно соответствовать требованию энергоэффективности, при минимальных затратах энергоресурсов в течение всего его жизненного цикла.

Согласно [4] коэффициент остекления здания от общей площади фасада принимается не более 18 % для жилых зданий, для общественных и административных зданий - не более 25 %, а для световых люков не должен превышать 10%.

В действующем нормативном документе [5] коэффициент остекленности здания не нормируется, так как снижение потребления тепловой энергии, прямо пропорционально площади наружных ограждающих конструкций, следовательно, меньше происходит потери тепла через них. В [6] нормируется коэффициент естественного освещения, поэтому в настоящее время встречается довольно много сооружений с большой площадью светопроемов.

Здания с полностью остекленными ограждающими конструкциями (см. рис. 1) подвержены воздействию всех природных и техногенных факторов, подобно традиционным зданиям, доля наружного остекления которых ограничена стандартными оконными проемами (см. рис. 2).



**Рис. 1.** Здания с высоким коэффициентом остеклённости



**Рис. 2.** Здания с низким коэффициентом остеклённости

В то же время здания с высоким коэффициентом остеклённости имеют определенную специфику в плане восприятия действующих нагрузок и формирования напряженного состояния в конструкциях внешней оболочки. Это утверждение относится в первую очередь к элементам оконных конструкций и панорамного остекления. Наличие сплошной светопрозрачной оболочки фасада здания способствует возникновению дополнительных тепловых нагрузок в виде температурного напряжения на отдельных внутренних поверхностях ограждающих конструкций помещений, возникающие вследствие селективного пропускания стеклом различных видов теплового излучения [7]. В действующих нормативных документах на проектирование зданий, сооружений и их конструкций такая нагрузка отражена только при расчете энергетического паспорта здания [8], который определяет энергоэффективность здания в целом, включающий в себя:

1) теплотехнические показатели (оценивают удельную теплозащитную характеристику и удельную вентиляционную характеристика здания);

2) теплоэнергетические показатели (оценивают удельную характеристику бытовых тепловыделений и удельную характеристику теплопоступлений от проникновения солнечных лучей через остекленную часть здания). Она влияет на вышеуказанные величины, потому что окна обладают такими же теплозащитными свойствами, как и любое наружное ограждение, а также через них поступает тепловой поток, влияющий на энергетический баланс здания [9].

Сокращение тепловых потерь через наружные светопрозрачные конструкции зависят от их энергетической эффективности. Потери тепла через окна складываются из вентиляционных и трансмиссионных показателей. Последние можно уменьшить путем увеличения приведенного сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции и удельной теплозащитной характеристики здания. На приведенное сопротивление теплопередачи наружного светопрозрачного ограждений можно повлиять различными способами:

- изменить параметры ограждающей конструкции;
- увеличить количество камер остекления;
- применить специальное напыление на светопрозрачную конструкцию.

Но при изменении параметров светопрозрачной ограждающей конструкции изменится удельная вентиляционная характеристика здания и его воздухопроницаемость. Поэтому применение энергосберегающих мероприятий в виде использования специального напыления на светопрозрачную конструкцию и увеличение количество камер остекления, позволит повысить класс энергетической эффективности здания, не уменьшая площадь остекления здания.

При определении тепловых потерь на инфильтрацию предлагается использовать фактические значения воздухопроницаемости светопрозрачных конструкций, которая позволит повысить точность значений удельной вентиляционной характеристики здания.

При расчете значений приведенного сопротивления теплопередачи и воздухопроницаемости светопрозрачного наружного ограждения следует учитывать коэффициент остекленности здания, так как при подборе конструкции оконного заполнения приведенное сопротивление теплопередаче должно быть больше требуемого сопротивления теплопередаче. Это способствует повышению энергоэффективности и, следовательно, повышению класса энергосбережения здания. Авторами предлагается, при составлении теплового баланса помещения, дополнительно рассчитывать коэффициент остекленности здания, так как процесс интерференции искусственного освещения с естественным, влияет не только на микроклимат помещения, но и на условия труда человека.

#### Библиографический список

1. Michael Donn, Grant Thomas. Designing Comfortable Homes - guidelines on the use of glass, mass and insulation for energy efficiency. CCANZ, Wellington, 2001. – 78 p.
2. Fitton, R., Swan, W., Hughes, T. et al. The thermal performance of window coverings in a whole house test facility with single-glazed sash windows. Energy Efficiency 10, 1419–1431 (2017).
3. Здания и сооружения со светопрозрачными фасадами и кровлями. Под редакцией И. В. Борискиной. Инженерно-информационный Центр Оконных Систем, Санкт-Петербург, 2012 г. – 400 стр.
4. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». - М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2003.
5. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. (утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 N 265) (ред. от 14.12.2018).

6. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23- 05-95\* – Введ. 17.05.2017. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 102 с.

7. Assessment of the intensity and flow of straight solar radiation falling onto the horizontal surface of a room / S. A. Yaremenko, R. A. Sheps, A. A. Mershchiev, D. V. Lobanov // The II "International Theoretical and Practical Conference on Alternative and Smart Energy" : Conference proceedings, Voronezh, 16–18 сентября 2020 года. – Voronezh: Воронежский государственный технический университет, 2021. – P. 12026.

8. Крайнов, Д. В. Учет коэффициента остекленности фасада при проектировании тепловой защиты зданий / Д. В. Крайнов // Строительные материалы. – 2017. – № 6. – С. 32-34.

9. Стратий, П. В. Влияние коэффициента остекленности фасада на энергоэффективность / П. В. Стратий, И. А. Становов // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2017. – № 4(47). – С. 105-114.

## References

1. Michael Donn, Grant Thomas. Designing Comfortable Homes - guidelines on the use of glass, mass and insulation for energy efficiency. CCANZ, Wellington, 2001. - 78 p.

2. Fitton, R., Swan, W., Hughes, T. et al. The thermal performance of window coverings in a whole house test facility with single-glazed sash windows. Energy Efficiency 10, 1419-1431 (2017).

3. Buildings and structures with translucent facades and roofs. Edited by I. V. Boriskina. Engineering and Information Center for Window Systems, St. Petersburg, 2012. - 400 pp.

4. SNiP 23-02-2003 Thermal Protection of Buildings. - Moscow: Gosstroy of Russia, FGUP CPP, 2003.

5. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Revised edition of SNiP 23-02-2003. (Approved by Order of the Ministry of Regional Development of Russia from 30.06.2012 N 265) (ed. from 14.12.2018).

6. SP 52.13330.2016 Natural and artificial lighting. Actualized edition of SNiP 23- 05-95\* - Introduced on 17.05.2017. - Moscow: Publishing house of standards, 2016. - 102 с.

7. Assessment of the intensity and flow of straight solar radiation falling onto the horizontal surface of a room / S. A. Yaremenko, R. A. Sheps, A. A. Mershchiev, D. V. Lobanov // The II "International Theoretical and Practical Conference on Alternative and Smart Energy": Conference proceedings, Voronezh, 16-18 September 2020. - Voronezh: Voronezh State Technical University, 2021. - P. 12026.

8. Kraynov, D. V. Taking into account the glazing factor of the facade in the design of thermal protection of buildings / D. V. Kraynov // Building Materials. - 2017. - № 6. - С. 32-34.

9. Stratiy, P. V. The influence of the glazing factor of the facade on energy efficiency / P. V. Stratiy, I. A. Stanovov // Bulletin of the Pacific State University. - 2017. - № 4(47). - С. 105-114.

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

УДК 625.7

*Воронежский государственный  
технический университет  
аспирант, кафедры строительства и эксплуата-  
ции автомобильных дорог*

*А.В. Жабцев*

*e-mail: [zhabtsev@mail.ru](mailto:zhabtsev@mail.ru)*

*Канд. тех. наук, доцент кафедры строитель-  
ства и эксплуатации автомобильных дорог*

*А.С. Строкин*

*e-mail: [alexmech23@gmail.com](mailto:alexmech23@gmail.com)*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7 (473) 236-18-89.*

*Voronezh State*

*Technical University*

*PhD student of Pulpit construction and usages  
of the car roads*

*A.D. Chudaikin*

*e-mail: [zhabtsev@mail.ru](mailto:zhabtsev@mail.ru)*

*Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of Pulpit  
construction and usages of the car roads*

*A.S. Strokin*

*e-mail: [alexmech23@gmail.com](mailto:alexmech23@gmail.com)*

*Russia, Voronezh, ph +7(473) 236-18-89.*

А.В. Жабцев, А.С. Строкин

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ НА СВОЙСТВА ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ**

Качество дорожных битумов напрямую влияет на проблему увеличения срока службы асфальтобетонных покрытий. В практике дорожного строительства и ремонта утвердилось мнение, что основным способом повышения качества битумов является их модификация полимерами. Следовательно, применение модифицированных битумов является стремительно развивающейся технологией для устройств верхних слоев покрытия автомобильных дорог.

**Ключевые слова:** битум, полимер, полимерно-битумное вяжущие, теплостойкость битума, интервал пластичности, эластичность.

A.V. Zhabtsev, A.S. Strokin

### **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF POLYMER-BITUMEN BINDERS ON THE PROPERTIES OF ROAD BITUMEN**

The quality of road bitumen directly affects the problem of increasing the service life of asphalt concrete coatings. In the practice of road construction and repair, the opinion has been confirmed that the main way to improve the quality of bitumen is their modification with polymers. Consequently, the use of modified bitumen is a rapidly developing technology for the devices of the upper layers of road pavement.

**Keywords:** bitumen, polymer, polymer-bitumen binder, bitumen heat resistance, plasticity interval, elasticity.

Анализ состояния дорожного покрытия на автомобильных дорогах государственного значения показывает, что в большинстве случаев на них образуется колеиность в летний период и выбоины в зимне-весенний период. Это вызвано, прежде всего, неудовлетворительными показателями физико-химических характеристик нефтяных битумов, используемых для устройства дорожных покрытий.

В течение долгого периода использование полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) в России носило эпизодический характер. Полимерно-битумное вяжущее, которое было использовано, получали путем ввода в битум раствора дивинилстирольного термоэластопласта. Эти работы были выполнены под руководством заведующего лабораториями органических вяжущих СоюздорНИИ Л.М.Гохмана [1-5].

С 1997 года устройство дорожных покрытий на федеральных трассах и магистральных улицах начало носить системный характер использования полимеров в асфальтобетонных смесях.

Широкое использование битумов, модифицированных термоэластопластами, стало возможным благодаря их способности обеспечивать высокую сдвигоустойчивость асфальтобетонных покрытий и их повышенную устойчивость воздействию многократных нагрузок от транспортных средств. Кроме того, полимеры, введенные в исходный битум, не снижая его хрупкости, способствуют повышению его консистенции, то есть переводят исходный битум из марки с большей пенетрацией, при 25 °С, в марку с меньшей пенетрацией. При этом, растет его когезия, а температура хрупкости остается такой, как у исходного битума. То есть, получают битум с повышенной способностью к трещиностойкости при низких температурах и более широким, чем у обычного битума той же марки, интервалом пластичности. Такова сущность механического поведения битума модифицированного полимерами и его влияния на качество асфальтополимербетона.

Однако, механические свойства асфальтобетона и асфальтополимербетона, в частности, обеспечиваются не только его прочностью при высоких температурах, деформативностью, но и сцеплением вяжущего с поверхностью каменных материалов. В сухом состоянии адгезия на прочность на границе раздела фаз выше когезионной прочности вяжущего в контактной зоне. Во влажном состоянии наоборот, адгезионный контакт разрушается водой, что приводит к преждевременному разрушению асфальтобетонного покрытия за счет шелушения и выкрашивания [4-7].

В процессе приготовления битумополимерного вяжущего контролируют: качество битума, точность дозирования битума и полимера, скорость введения полимера в битум, продолжительность и температурный режим перемешивания вяжущего, а также качество готового ПБВ.

Основными контрольными испытаниями ПБВ являются: определение температуры размягчения, пенетрации при 25 °С, эластичности, сцепление с кварцевым песком.

Для сравнительных характеристик основных свойств ПБВ, исследуем следующие композиции полимерно-битумных вяжущих.

Как показал опыт по испытанию органических вяжущих с полимерными добавками (Элвалой, Кратон, ДСТ), их применение значительно повышает теплостойкость битума, расширяет интервал пластичности, улучшает адгезионные свойства, придает эластичность, что должно обеспечивать соответственно улучшения качества асфальтобетона.

Основным преимуществом Элвалой является его отличная совместимость с битумом в простейших смесительных установках. Во многих случаях это позволяет готовить битум, модифицированный Элвалой в тех смесительных установках, которые есть на многих АБЗ.

Для исследования вяжущих использовались традиционные и специальные методы. К традиционным относятся: пенетрация при 25 и 0 °С, дуктильность при 25 и 0 °С, эластичность при 25 и 0 °С, температуры размягчения и хрупкости, а также устойчивость против старения. К специальным относятся: когезия битума в слое толщиной 200 мкм при температуре 20 °С, скорость сдвига  $\dot{\gamma} = 1 \text{ с}^{-1}$  и адгезия.

В обезвоженный, нагретый до температуры 185 °С битум БНД 90/130 подавался при постоянном перемешивании термоэластопласт «Кратон Д». Смесь битума с полимером перемешивалась при температуре 185-195 °С в течение 60 мин. от начала дозирования полимера. Продолжительность хранения ПБВ в битумоварочных котлах при температуре 160-163 °С не должна превышать двух суток. ПБВ, которое при хранении утратило однородность, перед применением необходимо повторно перемешать.

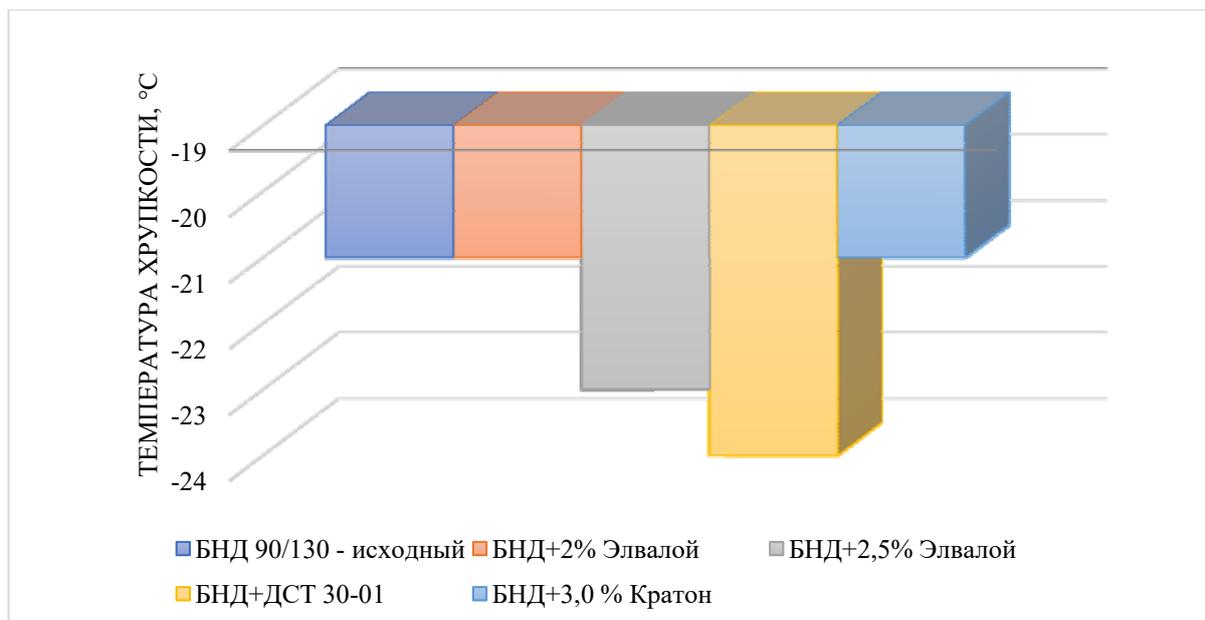
Оценка качества полученного вяжущего осуществлялась по значениям показателей: пенетрации при 25 °С, температуры размягчения, хрупкости, растяжимости при 25 °С, эластичности и сцепления с кварцевым песком.

Из анализа вышеизложенного видно, что Элвалой хорошо растворяется в битуме, а небольшое содержание добавки значительно увеличивает вязкость и температуру размягчения (таблица и рис. 1-2). Недостатком является высокая стоимость, длительное время перемешивания с битумом (до 9 ч), уменьшение растяжимости при 25 °С и эластичности [6-10].

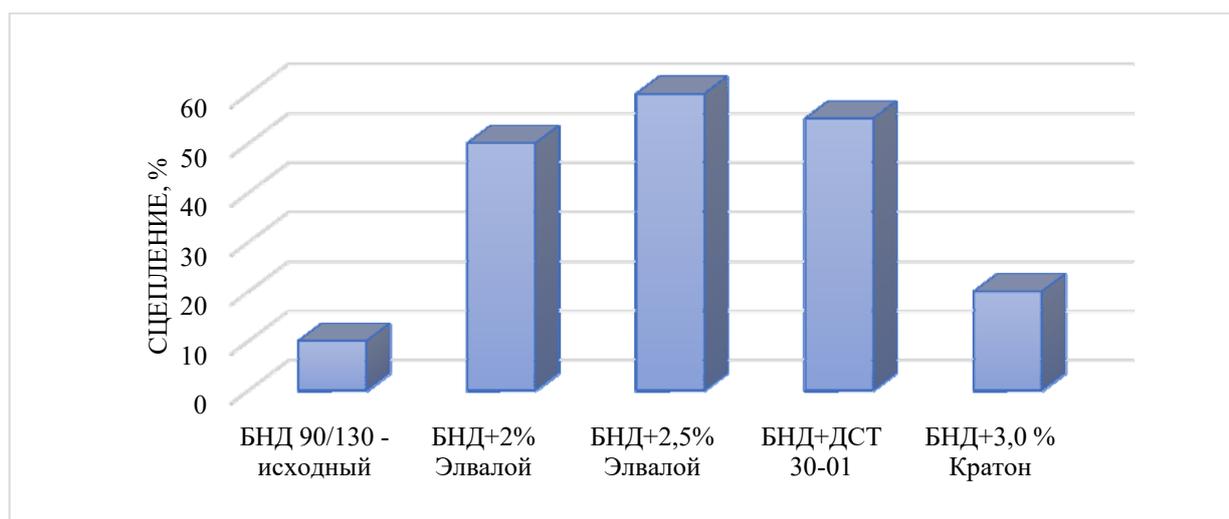
Таблица

Результаты испытаний

Наименование и содержание модификатора в вяжущем % по массе	Название показателя				
	Однородность	Пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	Температура размягчения по КиШ, °С	Дуктильность, см	Эластичность, %
Требования ГОСТ 22245-90		91-130	не ниже 43	не менее 65	
БНД 90/130 - исходный		105	44	73	
Требования для ПБВ 60	однородно	не менее 60	не ниже 54	не менее 25	не менее 80
БНД+2% Элвалой	однородно	77	59,5	75	86
БНД+2,5% Элвалой	однородно	68	62	75	89
БНД+ДСТ 30-01	однородно	81	72	83	83
БНД+3,0 % Кратон	однородно	80	50	62	80



**Рис. 1.** Зависимость между температурой хрупкости и содержанием полимера



**Рис. 2.** Зависимость между сцеплением и содержанием полимера

### Выводы

1. Модификация битумов полимерами приводит к повышению адгезионной активности вяжущего. Степень такого повышения зависит от адгезионных свойств самого вяжущего, полимера и их соотношения. Для каждой композиции необходимо определять величину сцепления, что будет способствовать прогнозированию водостойкости асфальтобетона.

2. Введение Элвалой в пределах 2,5% в начальный битум приводит к практически линейному повышению температуры размягчения полимерно-битумного вяжущего. При этом степень нарастания температуры при равном количестве Элвалой тем выше, чем ниже вязкость начального битума. В то же время температура хрупкости остается практически неизменной, растяжимость при 25 °С существенно снижается, появляется слабая эластичность и существенно растет когезия. Введение полимера приводит к переходу исходного битума менее вязкой марки в более вязкий битум, с гораздо лучшими показателями свойств и сохранением температуры хрупкости.

3. Главная роль полимера -усиление показателей свойств битума, за счет снижения его пенетрации, при сохранении низкотемпературной деформативности выходного битума, повышения эластичности и сцепления вяжущего за счет использования полимеров. Это является его вторичной функцией, проявление которой зависит от химического состава полимера.

#### Библиографический список

1. Колбановская А. С. Дорожные битумы / Колбановская А. С., Михайлов В. В. – М.: «Транспорт», 1973. – 264 с.
2. Гохман Л.М., Золотарев В.А., Гезенцевей Л.Б. Исследование деформационной устойчивости асфальтобетона с применением ПБВ в статистическом и динамическомрежимах деформирования: Труды СоюздорНИИ, 1977. - № 89. -С. 68-87.
3. Калгин Ю.И. Перспективные технологии строительства и ремонта дорожных покрытий с применением модифицированных битумов / Ю.И.Калгин, А.С. Строкин, Е.Б. Тюков. – Воронеж: ОАО Воронежская областная типография, 2014 г. – 224 с.
4. Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия на модифицированных битумах. /А.В. Руденский, Ю.И. Калгин; Воронеж.гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2009. – 143 с.
5. Золотарев В. А. Битумы, модифицированные полимерами типа СБС: Особенности состава, структуры и свойств /В. А. Золотарев// Доклад на международной научно-технической конференции «Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли». – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 17 с.
6. Золотарев В. А. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы с добавками в дорожном строительстве /В. А. Золотарев, В. И. Братчун.// Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (s8). – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 229 с.
7. Горельшев Н.В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы / Н.В. Горельшев. – М.: Можайск-Терра, 1995. – 176 с.
8. Золотарев В. А. Испытания дорожно-строительных материалов: лабораторный практикум / В.А. Золотарев, В.И. Братчун, А.В. Космин и др.; под ред. В.А. Золотарева, А.В. Космина. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – 368 с.
9. Molenaar, J.M.M. An investigation into the specification of rheological properties of polymer modified bitumen / J.M.M. Molenaar, E.T. Hagos, M.F.C. Van De Ven // Proceedings 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress. 12–14 may 2004. – Vienna, 2004. – P. 2080–2091.
10. Olard, F. Developpement de l'essai de fatigue sur liants et mastics bitumineux / F. Olard, D. Chabert // RGRA. – 2008. – № 865. – P. 69–74.

#### References

1. Kolbanovskaya A. S. Road bitumen / Kolbanovskaya A. S., Mikhailov V. V.-M.: "Transport", 1973. - 264 p.
2. Gokhman L.M., Zolotarev V.A., Gezentsvey L.B. Investigation of deformation stability of asphalt concrete using PBB in statistical and dynamic modes of deformation: Proceedings of Soyuzdornii, 1977. - No. 89. - pp. 68-87.
3. Kalgin Yu. I. Promising technologies for construction and repair of road surfaces using modified bitumen / Yu. I. Kalgin, A. S. Strokin, E. B. Tyukov. - Voronezh: Voronezh regional printing house, 2014 – 224 p.
4. Rudensky A.V. road asphalt concrete coatings on modified bitumen. / A.V. Rudensky, Yu. I. Kalgin; Voronezh. state. arch. - builds. UN-T.-Voronezh, 2009. - 143 p.
5. Zolotarev V. A. Bitumens modified with SBS-type polymers: features of composition, structure and properties /V. A. Zolotarev// Report at the international scientific and technical con-

ference "Problems of improving quality and resource saving in the road industry". - Kharkiv: khnadu, 2003. - 17 p.

6. Zolotarev V. A. Modified bitumen binders, special bitumen with additives in road construction /V. A. Zolotarev, V. I. Bratchun. // world road Association. Technical Committee " non-Rigid roads "(s8). - Kharkiv: hnadu, 2003. - 229 p.

7. Gorelyshev N. V. asphalt Concrete and other bituminous materials / N. V. Gorelyshev. - M.: Mozhaisk-Terra, 1995. - 176 p.

8. Zolotarev V. A. Testing of road construction materials: laboratory practice / V. A. Zolotarev, V. I. Bratchun, A.V. Kosmin et al.; ed. By V. A. Zolotarev, A.V. Kosmin. - Kharkiv: khnadu, 2012. - 368 p.

9. Molenaar, J.M.M. An investigation into the specification of rheological properties of polymer modified bitumen / J.M.M. Molenaar, E.T. Hagos, M.F.C. Van De Ven // Proceedings 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress. 12–14 may 2004. – Vienna, 2004. – P. 2080–2091.

10. Olard, F. Developpement de l'essai de fatigue sur liants et mastics bitumineux / F. Olard, D. Chabert // RGRA. – 2008. – № 865. – P. 69–74.

УДК 693

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
студентка группы 3150801/00003  
Инженерно-строительного института  
Т.Р. Слободянюк  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
тел. +7(981) 457-82-35  
e-mail: [slobodyanyuk.tr@edu.spbstu.ru](mailto:slobodyanyuk.tr@edu.spbstu.ru)  
Канд. техн. наук, доцент Высшей школы  
промышленно-гражданского и дорожного  
строительства О.С. Гамаюнова  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
тел. +7(921) 965-88-25  
e-mail: [gamayunova\\_os@spbstu.ru](mailto:gamayunova_os@spbstu.ru)*

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic  
University  
student of group 3150801/00003 of the Civil  
Engineering Institute  
T.R. Slobodyanyuk  
Russia, St.Petersburg,  
tel. +7(981) 457-82-35  
e-mail: [slobodyanyuk.tr@edu.spbstu.ru](mailto:slobodyanyuk.tr@edu.spbstu.ru)  
Ph.D., Associate Professor of the Higher  
School of Industrial, Civil and Road  
Construction O.S. Gamayunova  
Russia, St.Petersburg,  
tel. +7(921) 965-88-25  
e-mail: [gamayunova\\_os@spbstu.ru](mailto:gamayunova_os@spbstu.ru)*

Т.Р. Слободянюк, О.С. Гамаюнова

## **ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

В процессе строительного производства и демонтажа образуется большое количество строительных отходов. В статье рассмотрены основные методы обращения со строительными отходами, описан процесс их переработки и основные виды необходимого для переработки строительных отходов оборудования, определена область применения материалов, полученных в результате рециклинга строительных отходов. Показано, что вторичное использование строительных отходов позволяет значительно улучшить экологическую ситуацию, а также способствует сокращению материальных затрат на транспортировку и утилизацию отходов.

**Ключевые слова:** отходы, строительные материалы, рециклинг, переработка строительных материалов, экология, загрязняющие вещества, строительные отходы.

T.R. Slobodyanyuk, O.S. Gamayunova

## **RECYCLING AND REUSE OF CONSTRUCTION WASTE**

In the process of construction production and dismantling, a large amount of construction waste is generated. The article discusses the main methods of handling construction waste, describes the process of their processing and the main types of equipment necessary for the processing of construction waste, determines the scope of materials obtained as a result of recycling construction waste. It is shown that the recycling of construction waste can significantly improve the environmental situation, and also helps to reduce material costs for the transportation and disposal of waste.

**Keywords:** waste, building materials, recycling, building materials processing, ecology, pollutants, construction waste.

Строительство и эксплуатация зданий и сооружений нуждается в большом количестве сырья, стройматериалов, энергетических, водных и других ресурсов, из-за чего оно занимает лидирующее место по загрязнению окружающей среды за счет объема выброса разрабатываемых грунтов, твердых отходов нового строительства, а также строительных отходов, образующихся при сносе и реновации зданий [1]. Самый эффективный способ уменьшить нанесенные в процессе строительства или сноса зданий убытки окружающей среде – вторичная переработка строительных отходов, которая приносит большую прибыль за счёт того, что многие ценные материалы не растрачиваются впустую [2, 3].

### Анализ объемов образующихся строительных отходов

Строительные отходы образуются практически при всех строительных процессах: при возведении, сносе и реконструкции зданий и сооружений, производстве строительных материалов, ремонте жилья и инженерных сетей, капитальном и текущем ремонте дорог. С каждым годом количество возведенных строительных объектов в стране увеличивается, следовательно, увеличивается и количество отходов, образованных при этом процессе [4]. По оценкам экспертов группы исследователей Всемирного банка (рис.1) ежегодный прирост площадей свалок составляет более 0,4 млн. га [5].

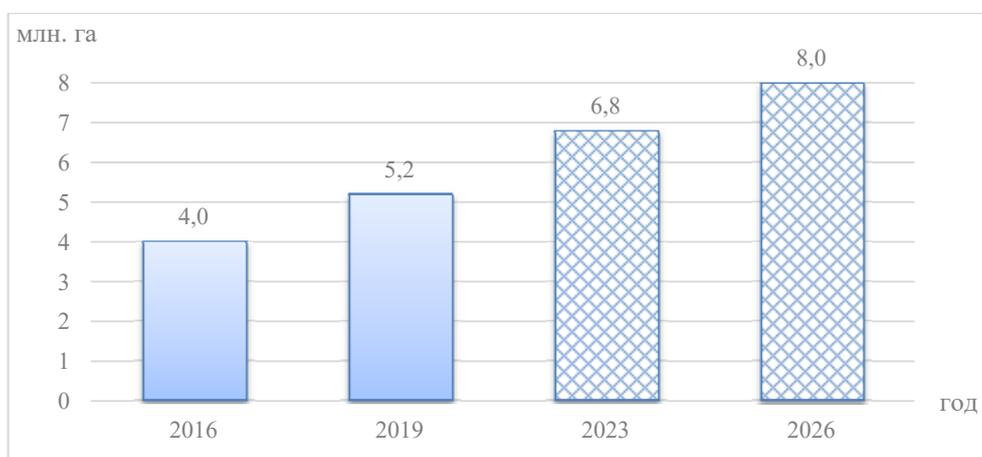


Рис. 1. Динамика роста площади свалок, млн. га

В процессе строительства, реконструкции и сноса зданий образуется огромное количество строительного мусора, состоящего из таких материалов, как: кирпич, бетон, железобетон, песок, стекло, асфальтобетон и т.д. На рис.2 представлена укрупненная структура строительных отходов по видам материалов в процентном соотношении [6].

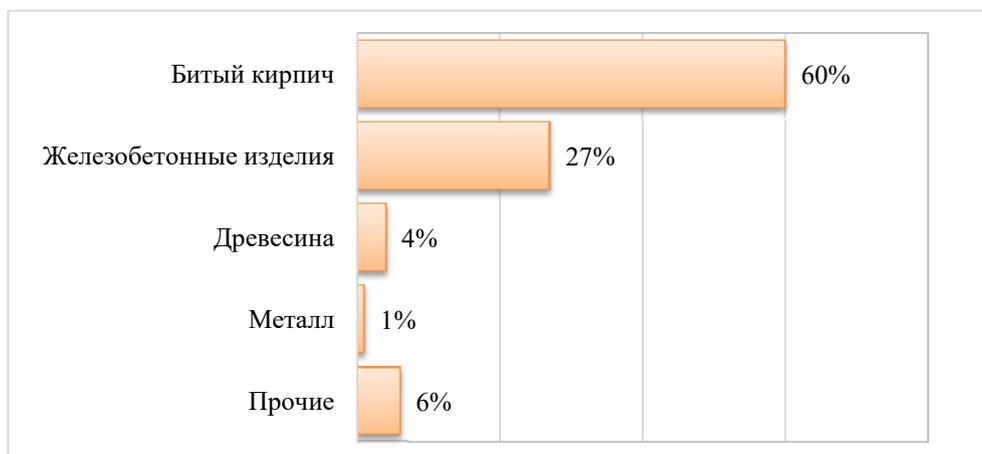


Рис. 2. Структура строительных отходов по видам материалов

### Виды отходов, возникающих при строительстве

Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов выделен 21 вид строительных отходов – отходы бетона и железобетона, скол асфальта, лом черных металлов и прочие. Все виды строительных отходов можно разделить на несколько категорий [7]:

1. тяжелый габаритный мусор, образующийся при сносе зданий и сооружений, расчистке строительных территорий;

2. строительный мусор, образующийся при возведении зданий и сооружений (пластиковая и картонная тара, мешки, деревянные ящики, металлические ленты, емкости из-под жидких материалов);

3. мусор, оставшийся после отделочных работ (плитки, пластиковые трубы, напольные покрытия, утеплители, остатки строительных смесей).

В статье [8] приведены следующие категории строительных отходов:

- крупногабаритные – элементы сооружений и конструкций, появляющиеся при сносе и реконструкции зданий, при демонтаже сооружений (окна, двери, перекрытия);

- материалы упаковки – пленка, гофрокартон, бумага и другие изделия, банки из-под краски, картонные коробки, мешки (полиэтиленовые, тканевые), полипропиленовые пакеты, остающиеся после работы;

- прочие отходы, собираемые после отделочных работ (куски плитки, гипсокартона, остатки клея, краски, ламината). В этой группе также пыль, обломки, крошки, все, что появляется в результате реконструкции или отделки помещений. Эти материалы мало весят, но часто имеют большой объём.

Описанные виды отходов появляются на различных этапах производственного процесса в строительстве и их можно классифицировать по составу и материалам:

- изделия из металла;
- конструкции из бетона;
- железобетонные блоки;
- стекло, как цельное, так и битое;
- древесина;
- части коммуникаций из металла, пластика и т.д.

По агрегатному состоянию отходы от строительных и ремонтных работ бывают твердыми, жидкими и сыпучими.

### Способы обращения со строительными отходами, их достоинства и недостатки

Строительные отходы в основном относятся к IV и V классам опасности. Самыми массовыми отходами в процессе строительства и сноса зданий и сооружений среди V класса опасности (рис.3) является бой железобетонных изделий (около 19%) и бой кирпичных изделий (около 9%), а среди IV класса (рис.4) - это отходы асфальтобетона или асфальтобетонной смеси (около 9%) и бой гипсокартонных листов (около 5%).



а)



б)

**Рис. 3.** Отходы V класса опасности:  
а – бой железобетонных изделий,  
б – бой кирпичных изделий



а)



б)

**Рис. 4.** Отходы IV класса опасности:  
а – отходы асфальтобетона,  
б – бой гипсокартонных листов

Основные направления использования строительного мусора: вторичная переработка, сжигание и захоронение на специальных полигонах.

1. Сжигание - процесс термической обработки мусора, заключающийся в сжигании содержащихся в нём органических материалов [9]. Преимущества данного способа - в эффективном снижении количества отходов (до 95%), выработывании электрической энергии в процессе работы устройств по сжиганию, экономии при транспортировке отходов и отсутствии неприятного запаха. Однако данный способ не обеспечивает устранения абсолютно всех отходов, так как большинство из них не горят. К недостаткам этого способа можно отнести высокие затраты на строительство и эксплуатацию мусоросжигательных заводов, а также вред, который может обеспечить зола и шлак, образующиеся в результате мусоросжигания и содержащие ряд ядов и тяжелых металлов.

2. Захоронение на специальных полигонах - это способ утилизации твердых бытовых отходов, при котором они размещаются на специально отведенных полигонах, называемых объектами захоронения. Этот способ применим ко всем представителям строительных отходов. Достоинства способа: минимум финансовых затрат, отсутствие сортировки отходов, препятствие распространения эпидемии, а также минимальное обслуживание. Недостатки данного способа – это отравление почвы, воды и атмосферы в результате разложения мусора со временем, необходимость достаточно большой территории, негативное влияние золы на человека и окружающую среду, а также загрязнение кислорода.

3. Вторичная переработка - деятельность, заключающаяся в обращении с отходами с целью обеспечения их повторного использования в народном хозяйстве и получения сырья, энергии, изделий и материалов. Данный способ также подходит абсолютно для всех материалов строительного мусора. Рециклинг позволяет обрабатывать бой железобетонных изделий на 100%, не нанося вреда окружающей среде. Вторичная переработка экономит ресурсы человека, удешевляет производство некоторых материалов и не требует места для хранения мусора [10]. Однако на начальных этапах данный проект является достаточно затратным, а инвестиции долго окупаются (от 4 до 8 лет).

Несмотря на все преимущества вторичной переработки перед остальными способами, наша страна все же занимает первое место в количестве захоронений отходов на полигонах. Для сравнения на рис.5 приведено процентное соотношение способов переработки отходов для России и некоторых зарубежных стран.

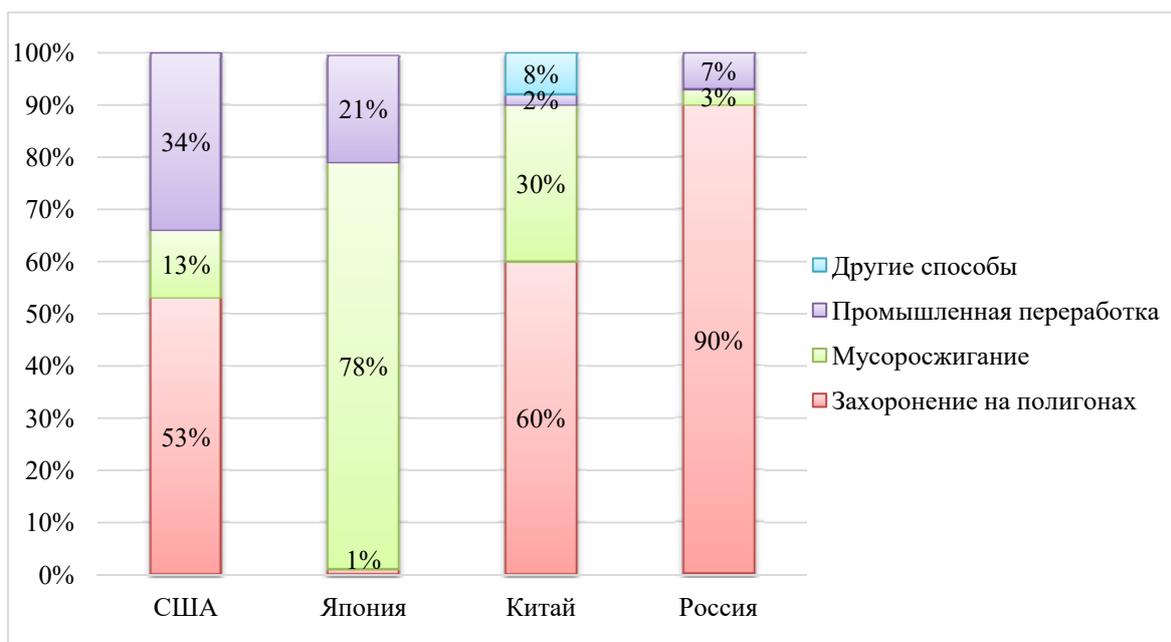


Рис. 5. Процентное соотношение способов переработки отходов по странам

## Оборудование для переработки строительных отходов

Процесс переработки строительного мусора происходит с помощью специально предназначенного для этого оборудования. Существует несколько различных вариантов машин, которые характеризуются такими признаками, как: размещение на местности, виды выполняемых операций и степень автоматизации. Из них выделяют стационарные машины, мобильные установки, самоходное оборудование [11]:

1. Стационарный комплекс обладает высокой производительностью и представляет собой устройство с магнитом, позволяющим удалить из массы отходов металлические изделия (рис.6). Затем загруженное сырьё перерабатывается дроблением. Данный комплекс не имеет возможности перемещения и требует вывоз мусора с помощью дополнительного оборудования.

2. Мобильные установки (рис.7) удобны при строительстве крупногабаритных зданий, не требуется вывоз контейнерами мусора. Основные виды мобильных установок:

- щёковые – отходы деформируются при давлении подвижной части оборудования на неподвижную (поверхности установки называются «щёками»); данный способ даёт возможность регулировать размер получаемого сырья;

- конусные – дробление строительных материалов происходит в результате вращения конусов;

- роторные - в роторной части оборудования вращается на высокой скорости ротор;

- валковые – состоят из двух роторов, могут быть для повышения производительности дополнены шипами;

- молотковые – превращение бетона в щебень происходит под воздействием молотков, находящихся в установке;

- ударно-центробежные – отходы разрушаются при ударе о специальные внутренние плиты;

- виброгрохоты.

3. Самоходные конструкции состоят из гусеничной техники, которая способна перерабатывать строительные материалы в труднодоступных районах. Недостаток таких установок – невысокая производительность.



Рис. 6. Стационарный перерабатывающий комплекс



Рис. 7. Мобильная роторная дробилка Keestrack R3e

В зависимости от бюджета и задачи используют различное оборудование для переработки отходов. От типа оборудования зависит качество вторичного сырья и производительность переработки.

### Область применения вторичных материалов переработки

Существует множество направлений использования строительных отходов [12-14]. Рассмотрим несколько материалов, относящихся к IV классу опасности.

Шлак в результате воздушного охлаждения и дробления на мельнице может вторично использоваться как заполнитель при изготовлении бетонов, вибропрессованных изделий, строительных блоков, для изготовления минеральной ваты. Благодаря хорошим теплоизоляционным свойствам его можно также использовать в качестве сухой стяжки [15].

Из всего, что содержит в себе битум, можно получать битум-порошок, битумно-полимерную пластику, массу с минералами и битумом, которые в последствии применяются при строительстве дорог и для создания изоляционных компонентов.

Говоря о строительных материалах V класса опасности, можно определить следующую область применения вторичных материалов [16]:

- Отсев щебня, который в результате дробления служит заполнителем для изготовления растворов, смесей, железобетонных и вибропрессованных изделий. Благодаря морозостойкости и влагостойкости данный материал может служить основой для создания подушек под трубопроводы.

- Бой строительного кирпича, который может использоваться в качестве заполнителя для бетонов, а также для строительства и отсыпки садовых, дачных, проселочных дорог.

- Некондиционные деревянные материалы могут также использоваться в качестве сырья при производстве топливных брикетов, фибролита и древесно-стружечных плит, путем их измельчения в опилки и стружку.

- Асфальтное покрытие, которое нередко снимается при сносе домов, можно использовать для изготовления новых дорог, причём как самого покрытия, так и скосов, насыпей и подушек.

В качестве примера использования дробленых камней и бетона можно привести устройство подстилающего слоя при строительстве или ремонте автомобильных дорог (рис.8), а также использование их в качестве фундаментов, например, под складские помещения или здания из легких конструкций (рис.9).



**Рис. 8.** Применение измельченного бетона при строительстве дорог [17]



**Рис. 9.** Использование битого кирпича в качестве фундамента [17]

## Выводы

В данной работе были проанализированы объемы образующихся при строительстве, реконструкции и сносе зданий строительных отходов, рассмотрены основные виды обращения со строительными отходами, подробно описаны процессы вторичной переработки материалов и выявлены основные сферы применения переработанных отходов.

Преимущества рециклинга очевидны: отсутствие затрат на вывоз и утилизацию остатков за пределы предприятия, сокращение вреда для окружающей среды, снижение расходов на строительные материалы. Применение вторичной переработки отходов позволяет обеспечить безопасное обращение со строительными отходами, а также добиться рациональной организации рынка вторичного сырья, при этом сохраняя природные ресурсы.

Также стоит обратить внимание на относительно новый способ утилизации мусора – депонирование – добавлении к структуре строительных отходов новых материалов, благодаря которым получается совершенно новый продукт с улучшенными свойствами. Данная технология вытекает из рециклинга (вторичной переработки) с использованием уже отсортированного сырья. Преимущество депонирования заключается в экономии на сырье и улучшении свойств, что достаточно выгодно для строительных организаций. Однако для получения материалов с примесью строительных отходов необходимо специальное дорогостоящее оборудование, которое могут позволить себе не все компании.

Таким образом, утилизация и переработка мусора позволяет значительно улучшить экологическую ситуацию и способствует сокращению финансовых расходов и материальных ресурсов на новое строительство. Также возможно значительное сокращение материальных затрат на транспортировку и утилизацию отходов.

## Библиографический список

1. Тихонов Е.Г., Чулков В.О. Отходы и вторичные ресурсы. Статья вторая // Отходы и ресурсы. Том 2. 2015. №4. С. 2.
2. Петров Ф.И. Организация рационального использования вторичных строительных ресурсов при реконструкции промышленных предприятий // Вестник МГСУ. 2010. №2. С. 297–301.
3. Ракова А.П., Терех М.Д. Применение сортировки на строительной площадке как этап метода «5С» концепции бережливого строительства // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 179-181.
4. Прохоцкий Ю.М., Лунев Г.Г. Организационные и экономические проблемы использования вторичных строительных ресурсов при реконструкции объектов недвижимости // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2010. №1 (4). С. 81–94.
5. Что делать с мусором в России? [Электронный ресурс]. – URL: <https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2019/10/report-russia-garbage.pdf> (дата обращения: 12.04.2021).
6. Акри Е.П., Пташинский Д.Г. Эффективность переработки строительных отходов методом рециклинга // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 72-1. С. 119-121. DOI: 10.18411/lj-04-2021-29
7. Олейник П.П., Олейник С.П. Источники образования строительных отходов и концепция их переработки // Промышленное и гражданское строительство. 2005. №2. С. 36–38.

8. Соколов Л.И. Классификация и рециклинг строительных отходов // Управление техносферой: электрон. журнал. 2021. Т.4. Вып. 1. С. 39–49. DOI 10.34828/UdSU.2021.40.44.008
9. Кравцова М.В., Васильев А.В., Кравцов А.В., Носарев Н.С. Анализ методов утилизации отходов строительства с последующим вовлечением во вторичный оборот // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. №4. с. 804–809.
10. Гасилов В.В., Крючкова И.В. Оценка экономической эффективности использования вторичных ресурсов в строительстве // ФЭС: Финансы. Экономика. 2012. №11. С. 5–8.
11. Шубов Л.Я. Аргументы и факты политики управления отходами // Твердые бытовые отходы. 2009. №5 (35). с. 14-21.
12. Петров О.В. Современные отделочные материалы в дизайне интерьера // Инженерные исследования. 2021. № 3 (3). С. 22-27. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/3/22-27.pdf>
13. Лебедева А.Е., Терех М.Д. Железобетонные конструкции на основе материалов рециклинга строительных и бытовых отходов // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 163-166.
14. Крылова К.К. Основные технологии и материалы для возведения перегородок в жилых зданиях // Инженерные исследования. 2021. № 5 (5). С. 23-30. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/23-30.pdf>
15. Колосков В.Н., Олейник П.П., Тихонов А.Ф. Разборка жилых зданий и переработка их конструкций и материалов для повторного использования // Издательство Ассоциации строительных вузов. 2004. С.199.
16. Кашевская Е.В., Костенко К.К., Костенко А.К. Использование отходов производства и вторичных ресурсов в дорожном строительстве // Наука и техника в дорожной отрасли. 2004. №2 (29). С.30–33.
17. Мишнева А.А. Утилизация отходов для вторичного использования в строительной промышленности // В сборнике: Образование. Наука. Производство. Материалы X Международного молодежного форума с международным участием. 2018. С. 144-147.

#### References

1. Tikhonov E.G., Chulkov V.O. Waste and secondary resources. Article two // Waste and resources. Vol. 2. 2015. No.4. P. 2.
2. Petrov F.I. The organization of rational use of secondary construction resources in the reconstruction of industrial enterprises // Vestnik MGSU. 2010. No. 2. Pp. 297-301.
3. Rakova A.P., Terekh M.D. The use of sorting at the construction site as a stage of the «5C» method of the concept of lean construction // In: ISI Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Civil Engineering Institute of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021, Pp. 179-181.
4. Prokhotsky U.M., Lunev G.G. Organizational and economic problems of using secondary construction resources in the reconstruction of real estate objects // Innovation and expertise: scientific works. 2010. No. 1 (4). Pp. 81–94.
5. What to do with garbage in Russia? [Electronic resource]. – URL: <https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2019/10/report-russia-garbage.pdf> (access: 12/04/2021)
6. Akri E.P., Ptashinsky D.G. Efficiency of construction waste processing by the recycling method // Trends in the development of science and education. 2021. No. 72-1. Pp. 119-121. DOI: 10.18411/lj-04-2021-29.

7. Oleynik P.P., Oleynik S.P. Sources of formation of construction waste and the concept of their processing // *Industrial and civil construction*. 2005. No. 2. Pp. 36-38.
8. Sokolov L.I. Classification and recycling of construction waste // *Management of the technosphere: electron. magazine*. 2021. V.4. Issue. 1. Pp. 39–49. DOI 10.34828/UdSU.2021.40.44.008
9. Kravtsova M.V., Vasiliev A.V., Kravtsov A.V., Nosarev N.S. Analysis of methods for recycling construction waste with subsequent involvement in secondary turnover // *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015. No. 4. Pp. 804-809.
10. Gasilov V.V., Kryuchkova I.V. Evaluation of the economic efficiency of the use of secondary resources in construction // *FAC: Economy*. 2012. No. 11. Pp. 5-8.
11. Shubov L.Ya. Arguments and facts of waste management policy // *Solid household waste*. 2009. No. 5 (35). Pp. 14-21.
12. Petrov O.V. Modern decoration materials in interior design // *Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]*. 2021. No. 3(3). Pp. 22-27. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/3/22-27.pdf>
13. Lebedeva A.E., Terekh M.D. Reinforced concrete structures based on building and household waste recycling materials // In: *ISI Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts*. Civil Engineering Institute of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021, Pp. 163-166.
14. Krylova K.K. Basic technologies and materials for construction of partitions in residential buildings // *Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]*. 2021. No. 5(5). Pp. 23-30. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/23-30.pdf>
15. Koloskov V.N., Oleinik P.P., Tikhonov A.F. Disassembly of residential buildings and processing of their structures and materials for reuse // *Publishing House of the Association of Construction Universities*. 2004. P. 199.
16. Kashevskaya E.V., Kostenko K.K., Kostenko A.K. The use of production waste and secondary resources in road construction // *Science and technology in the road industry*. 2004. No. 2 (29). P. 30–33.
17. Mishneva A.A. Waste disposal for recycling in the construction industry // In: *Education. The science. Production. Materials of the X International Youth Forum with international participation*. 2018. Pp. 144-147.

# АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 721.011

*Воронежский государственный  
технический университет  
старший преподаватель кафедры  
«Жилищно-коммунального хозяйства»  
Лобанов Дмитрий Валерьевич  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92  
e-mail: ldv-36@mail.ru  
старший преподаватель кафедры  
«Жилищно-коммунального хозяйства»  
Мерщев Александр Александрович  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92  
e-mail: sasha\_1990@mail.ru  
Военно-воздушная академия имени  
профессора Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина  
к.т.н., доцент, начальник кафедры  
Звенигородский Игорь Иванович  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)244-76-45  
e-mail: zvendocent@mail.ru*

*Voronezh State  
Technical University  
Senior Lecturer of the Department of Housing  
and Communal Services  
Lobanov Dmitry Valerievich  
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92  
e-mail: ldv-36@mail.ru  
Senior Lecturer of the Department of Housing  
and Communal Services  
Mershchiev Alexander Alexandrovich  
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92  
e-mail: sasha\_1990@mail.ru  
Military Air Academy named after Professor  
N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin  
Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor, Head of the Department  
Zvenigorodskiy Igor Ivanovich  
Russia, Voronezh, tel. +7(473)244-76-45  
e-mail: zvendocent@mail.ru*

Д.В. Лобанов, А.А. Мерщев, И.И. Звенигородский

## НЕОБХОДИМОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА ПРИ АРХИТЕКТУРНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЯ

Создание нормируемых параметров воздушной среды – важная задача для здания любого назначения. Однако, в настоящее время не менее актуальным является обеспечение экологической безопасности помещений. Для формирования микроклимата требуется выполнить подготовку наружного воздуха в соответствии с нормативными документами и техническим заданием. В данной статье рассматривается необходимость комплексного подхода при разработке архитектурно-планировочных решений здания, учитывающего многообразие инженерных систем и коммуникаций, с целью определения месторасположения вентиляционных камер и, соответственно, размещения воздухозаборных и выбросных устройств. Как показывает практика, несоблюдение требований и рекомендаций нормативной и справочной литературы приводит не только к ухудшению качества воздушной среды в помещениях, но и к значительным тратам на эксплуатацию вентиляционных систем.

**Ключевые слова:** воздухозабор, удаление воздуха, экологическая безопасность помещения, качество воздушной среды.

## THE NEED FOR A COMPREHENSIVE APPROACH IN THE ARCHITECTURAL DESIGN OF A BUILDING

The creation of normalized parameters of the air environment is an important task for a building of any purpose. However, at present, ensuring the environmental safety of premises is no less relevant. To form a microclimate, it is required to prepare the outside air in accordance with regulatory documents and terms of reference. This article discusses the need for an integrated approach in the development of architectural and planning solutions for a building, taking into account the diversity of engineering systems and communications, in order to determine the location of ventilation chambers and, accordingly, the placement of air intake and exhaust devices. As practice shows, non-compliance with the requirements and recommendations of regulatory and reference literature leads not only to a deterioration in the quality of the indoor air, but also to significant costs for the operation of ventilation systems.

**Keywords:** air intake, air removal, environmental safety of the premises, air quality.

Вентиляционные системы предназначены для создания в помещениях зданий различного назначения нормируемых параметров микроклимата на допустимом уровне [1]. При этом, в зависимости от периода года и технических требований, предъявляемых к системе, необходимо выполнить подготовку подаваемого приточного воздуха: очистка от пыли различной степени дисперсности или других вредностей [2], нагрев или охлаждение, увлажнение или осушка (в системах центрального кондиционирования воздуха), уменьшение уровня звукового давления (шума) до требуемых значений и т.д.

В настоящее время большое значение уделяют чистоте подаваемого воздуха, его качеству [3]. Поэтому при проектировании систем вентиляции необходимо ответственно подходить к решению выбора места расположения приточных и вытяжных вентиляционных камер и, соответственно, размещению устройств забора и удаления воздуха. Основные требования, предъявляемые к приемным устройствам наружного воздуха, изложены в п. 7.5 [1] и заключаются в следующем:

- приемные устройства наружного воздуха не допускается размещать на расстоянии менее 8 м по горизонтали от мест сбора мусора, интенсивно используемых мест парковки для трех и более автомобилей, дорог с интенсивным движением, погрузо-разгрузочных зон, систем испарительного охлаждения, верхних частей дымовых труб, мест выброса вытяжного воздуха и мест с выделениями других загрязнений или запахов; со стороны фасада, выходящего на улицу с интенсивным движением (если это условие невыполнимо, то приемные устройства для наружного воздуха следует располагать на предельно возможной высоте от уровня земли); вблизи мест вытяжки и мест с выделениями других загрязнений или запахов;

- приемные устройства для забора наружного воздуха и выбросные устройства для удаления вытяжного воздуха общеобменных вентиляционных систем в атмосферу допускается размещать на одном фасаде с не открывающимися при эксплуатации окнами в уровне технического или обслуживаемого этажа на расстоянии между ними 10 м по горизонтали (6 м по вертикали – при горизонтальном расстоянии менее 10 м).

Однако, зачастую требования и рекомендации по размещению устройств приема наружного и выброса использованного воздуха не соблюдаются.

Рассмотрим фасад одного из крупных многофункциональных центров (см. рис. 1) в г. Воронеже.



**Рис. 1.** Фасад многофункционального центра

На фото (см. рис. 1) показано взаимное размещение устройств приема наружного (поз.1), удаления использованного (поз.2) воздуха, зона дебаркадера (поз.3) для выполнения погрузочно-разгрузочных работ, светопрозрачные оконные конструкции (поз.4) с открываемыми створками (фрамугами) для возможности проветривания офисных помещений. Отметим, что в данном случае нарушены многие положения пункта 7.5 [1], влияющие на качество и чистоту подаваемого приточного воздуха:

1. Грузовые автомобили, подъезжающие к зоне выполнения погрузочно-разгрузочных работ и отъезжающие от нее (см. рис. 1, поз.3), некоторое время осуществляют выброс загрязняющих веществ (выхлопные газы) и взмучивают пыль с дорожного полотна, которые поднимаются вверх, попадая в устройства забора наружного воздуха (см. рис. 1, поз.1), а также в приоткрытые оконные проемы (см. рис. 1, поз.4), расположенных над дебаркадером офисных помещений;

2. Вытяжные вентиляционные устройства (см. рис. 1, поз.2), представляющие собой решетки с горизонтальными жалюзи и имеющими угол наклона  $20^\circ$ , размещены в непосредственной близости от приемных устройств наружного воздуха (см. рис. 1, поз.1) и окон (см. рис. 1, поз.4). При работе вытяжных вентиляционных систем, удаляемый воздух будет «перетекать» в устройства забора наружного воздуха (особенно в безветренную погоду) и приоткрытые окна, тем самым ухудшая, соответственно, качественный состав наружного воздуха и внутренний воздух помещений.

К сожалению, вышеописанные нарушения при организации мест размещения устройств приема и удаления воздуха, приводят к удорожанию при эксплуатации систем вентиляции, связанные с необходимостью более частой очистки/замены фильтрующего материала, и ухудшению экологической обстановки в помещениях здания.

Отметим, что данные нарушения приводят к загрязнению наружного воздуха (в дальнейшем приточного) не только пылью различной степени дисперсности, но и газами. Для очистки наружного воздуха требуется размещение разных фильтров [4]. При этом для очистки от пыли устанавливаются фильтры с фильтровальной тканью из полиэстера-синтепона, а для очистки от газов – специальные угольные и иные фильтры [5].

Рассмотрим состояние первичного фильтрующего материала, расположенного в форкамере вентиляционной камеры. На рисунке 2а видно, что на воздухозаборе одной из систем разместили фильтрующую ткань на основе синтепона. На рис. 2б (слева) показано то же самое место после 7 дней эксплуатации, а на рис. 2б (справа) изображена ткань на заборе воздуха другой системы после 14 дней эксплуатации.



**Рис. 2.** Фильтрующий материал на входе в приточную установку

Таким образом, затраты на обслуживание очистки воздуха в вентиляционных системах частично зависят от правильного и грамотного расположения вентиляционных камер в архитектурно-планировочной концепции здания и, соответственно, взаимного размещения устройств забора и удаления воздуха [1].

#### Библиографический список

1. СП 60.13330.2020 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»;
2. ГОСТ Р 59972-2021 «Системы вентиляции и кондиционирования воздуха общественных зданий. Технические требования»;
3. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»;
4. Чупалов, В. С. Воздушные фильтры: монография, Федеральное агентство по образованию, гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Санкт-Петербургский гос. ун-т технологии и дизайна». - Санкт-Петербург: СПГУТД, 2005 - 167 с.;
5. Шаронов, В.Е. Регенерируемые поглотители диоксида углерода на основе оксида кальция и карбонатов щелочных металлов: дис. канд. хим. наук: 02.00.15 / Шаронов Василий Евгеньевич. - П., 2004. - 148 с.

#### References

1. SP 60.13330.2020 "SNiP 41-01-2003 Heating, Ventilation and Air Conditioning";
2. GOST R 59972-2021 "Ventilation and air conditioning systems of public buildings. Technical requirements";
3. GOST 30494-2011 "Residential and Public Buildings. Parameters of microclimate in premises";
4. Chupalov V. S. Air filters: monograph, Federal Agency of Education, State Educational Institution of Higher Professional Education "Saint-Petersburg State University of Technology and Design". - Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Technology and Design, 2005 - 167 p.;
5. Sharonov V.E. Regenerated carbon dioxide absorbers based on calcium oxide and alkali metal carbonates: Cand. - P., 2004. - 148 p.

# **ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ**

УДК 624.042:624.131.384

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доцент кафедры строи-  
тельной механики*

*Г.Е. Габриелян*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2715230*

*e-mail: [grayr2010@rambler.ru](mailto:grayr2010@rambler.ru)*

*Студенты дорожно-транспортного фа-  
культета*

*А.В. Волокитина*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(904)212-18-21*

*e-mail: [nasya.v@mail.ru](mailto:nasya.v@mail.ru)*

*М.А. Габриелян*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(915)588-66-07*

*e-mail: [gabrielyan-525@mail.ru](mailto:gabrielyan-525@mail.ru)*

*Ю.А. Макаренкова*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-53-62*

*e-mail: [y.makarenkova@btlvz.ru](mailto:y.makarenkova@btlvz.ru)*

*Voronezh State*

*Technical University*

*PhD of Tech.Sciences, Associate professor of  
the Department of Structural Mechanics*

*G.E. Gabrielyan*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 2715230*

*e-mail: [grayr2010@rambler.ru](mailto:grayr2010@rambler.ru)*

*Students of the Faculty of Highways and  
Transport*

*A.V. Volokitina*

*Russia, Voronezh, tel. +7(904)212-18-21*

*e-mail: [nasya.v@mail.ru](mailto:nasya.v@mail.ru)*

*M.A. Gabrielyan*

*Russia, Voronezh, tel. +7(915)588-66-07*

*e-mail: [gabrielyan-525@mail.ru](mailto:gabrielyan-525@mail.ru)*

*Yu.A. Makarenkova*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-53-62*

*e-mail: [y.makarenkova@btlvz.ru](mailto:y.makarenkova@btlvz.ru)*

Г.Е. Габриелян, А.В. Волокитина, М.А. Габриелян, Ю.А. Макаренкова

## **КРАТКИЙ НАУЧНЫЙ ОБЗОР МЕТОДОВ РАСЧЁТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ ПОД НАСЫПЯМИ АВТОДОРОГ**

Рассматриваются существующие методы расчёта гибких водопропускных труб под насыпями автодорог. Анализируются подходы, заложенные в основу различных групп методов. Приводится алгоритм вероятностного расчёта труб с учётом разброса характеристик окружающего грунтового массива.

**Ключевые слова:** насыпь автодороги, водопропускные трубы, грунтовая засыпка, напряженно-деформированное состояние.

G.E. Gabrielyan, A.V. Volokitina, M.A. Gabrielyan, Yu.A. Makarenkova

## **BRIEF SCIENTIFIC REVIEW OF METHODS FOR CALCULATING METAL CORRUGATED CULVERTS UNDER ROAD EMBANKMENTS**

The existing methods of calculation of flexible culverts under embankments of highways are considered. The approaches underlying various groups of methods are analyzed. The algorithm of probabilistic calculation of pipes taking into account the spread of characteristics of the surrounding soil environment is given.

**Keywords:** road earth-deposit, pipe culvert, soil filling, deflected mode.

Особенностью расчёта располагаемых в насыпях гибких гофрированных труб является совместное сопротивление материала и окружающего грунтового массива действующим нагрузкам. При увеличении деформаций трубы растёт пассивный отпор грунта, который оказывает поддерживающее влияние. Физически грунт не способен воспринимать растягивающие усилия, и на тех участках трубы, которые под воздействием внешней нагрузки перемещаются внутрь её, отпор грунта отсутствует. Таким образом, задача сводится к расчёту оболочки в упругой среде с односторонними связями (рис.1).

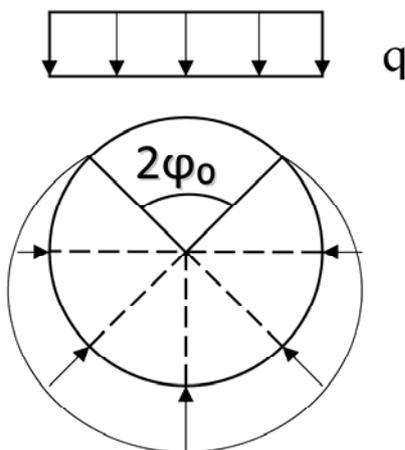


Рис. 1. Расчетная схема

Существуют различные классификации используемых в настоящее время методов расчёта металлических гофрированных труб под насыпями автодорог. Выделим три группы методов.

К **первой группе** относятся методы, основные положения которых были заложены в 60-е годы двадцатого столетия. Они отличаются степенью идеализации и сложностью применяемого математического аппарата. Но во всех используется плоская расчетная схема (плоская деформация) и задача сводится к расчету упругого кольца в грунтовой среде. В эту группу входят методы Леви, Шпенглера, А.А. Герцога, Г.К. Клейна, В.А. Ярошенко, С.В. Виноградова, Б.Г. Галеркина, П.М. Емельянова, В.М. Лисова и др.

В методе «Метропроекта» кольцевое сечение заменяется ломаной линией, а грунтовой массив – податливыми опорами. Распределенная нагрузка приводится к сосредоточенным силам в узлах. Статическая неопределимость конструкции раскрывается с помощью метода сил. Расчёт по методу «Метропроекта» является весьма трудоемким. В методе О.Е. Бугаевой учет отпора грунта ведется по модели Фусса-Винклера, заранее задается закон изменения ординат отпора грунта, а величина безотпорной зоны  $2\phi_0$  назначается равной  $90^\circ$ . Для конструкций кругового очертания в [1] составлены таблицы изгибающих моментов и продольных сил в различных сечениях.

В [2] в результате использования уравнений статики и зависимостей теории упругости получены разрешающие дифференциальные уравнения в касательных перемещениях, описывающие напряженно-деформированное состояние (НДС) кольца в безотпорной и отпорной зонах. Разложением нагрузки в ряды Фурье получено матричное решение задачи, сформулированы также граничные условия. Размер безотпорной зоны определяется методом итераций.

Методы, относящиеся к первой группе, используют арочную модель и не учитывают пространственную работу конструкции, содержат большое количество упрощений, что делает нецелесообразным их применение.

Во **вторую группу** методов включены методы механики сплошной среды. Методы расчета с использованием аппарата теории сплошных сред были разработаны и усовершенствованы в работах В.Ш. Барбакадзе, Б.Г. Галеркина, Ю.К. Зарецкого и др.

К **третьей группе** методов отнесены численные методы- метод конечных элементов (МКЭ), метод граничных элементов, метод конечных разностей и др. В большинстве из них рассматривается плоская постановка, грунт задается моделью Мора- Кулона и используются известные программные комплексы (COSMOS/M, PLAXIS, ЛИРА- САПР и др.).

В работах [3,4] выполнены попытки учесть **пространственную работу** гибких гофрированных труб на основе полубезмоментной теории В.З. Власова. В [3] результаты расчета гибкой конструкции арочного полукругового очертания сопоставлены с результатами эксперимента, поставленного в лабораторных условиях на модели аналогичной конструкции, а также произведено сравнение с результатами расчета по широко известному методу конечных элементов. На основе сравнения результатов авторы подчеркивают высокую степень достоверности, которую дает расчет по теории оболочек В.З. Власова.

В настоящее время в литературе практически отсутствуют расчеты гибких гофрированных труб под насыпями автодорог в **вероятностной постановке**. В [5] авторами выделяются уточненный и приближенный подходы вероятностного расчета. Грунтовый массив, окружающий трубу, является сложной системой, обладающей значительными флуктуациями. Их учет позволяет получить обоснованные данные об особенностях распределения усилий и деформаций. Грунтовый массив обычно моделируется сплошной стохастической средой с различными деформационными характеристиками.

В **приближенном** подходе вероятностная модель среды представляется полем с постоянными по площади вероятностными характеристиками в соответствии с понятиями теории вероятностей. Модуль деформации грунтовой среды считается случайной величиной, распределенной по нормальному закону. Расчет напряженно-деформированного состояния трубы в насыпи с использованием плоской конечноэлементной расчетной схемы и метода статистических испытаний включает следующие этапы:

- генерация случайных значений модуля деформаций грунта в соответствии с нормальным законом;
- расчет по программе МКЭ НДС трубы;
- накопление статистических данных параметров НДС при повторных расчетах для случайных значений модуля деформации;
- выравнивание статистических распределений параметров НДС и подбор подходящих законов распределения.

В **уточненном** подходе окружающая трубу сплошная среда представляется стохастически неоднородным массивом со случайными характеристиками в отдельных точках. Переход к плоской расчетной схеме приводит сплошную среду к случайному неоднородному полю, статистические параметры которого приняты в соответствии с теорией нормальных случайных функций с постоянным среднеквадратическим отклонением и периодически изменяющимся математическим ожиданием. При нормальном распределении параметров достаточно задать математические ожидания модуля деформации грунта по периметру трубы.

В [6] окружающий трубу грунт представляется в расчетной схеме, состоящей из двух однородных зон: верхней случайной и нижней детерминированной (рис.2).

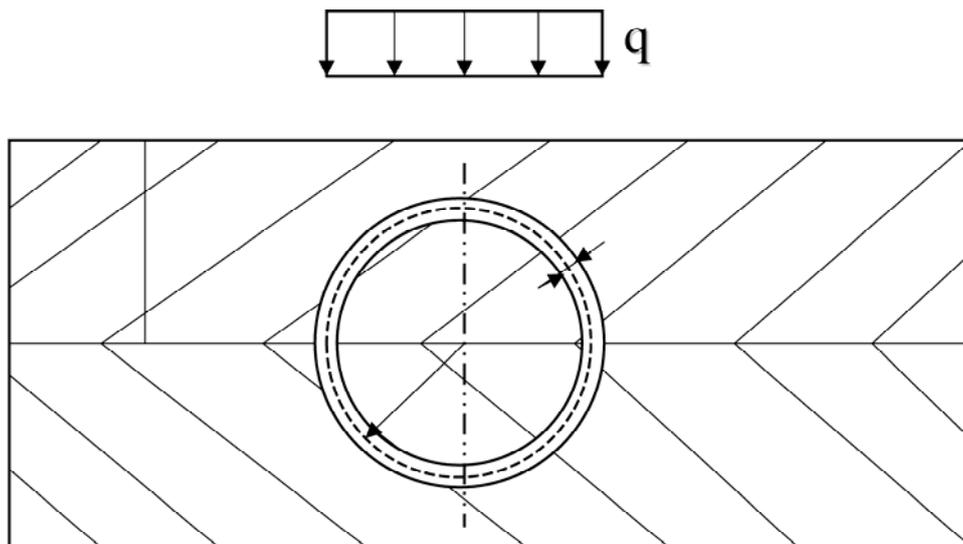


Рис. 2. К постановке задачи

Граница двух зон совпадает с линией, проходящей через центр тяжести трубы. Модуль деформации грунта в верхней зоне считается случайной величиной, распределенной по нормальному закону. В нижней зоне грунт имеет постоянный модуль деформации. Выбор детерминированной зоны в нижней части расчетной схемы обусловлен в целях упрощения расчетов незначительным влиянием на НДС в трубе флуктуаций деформативности нижней зоны грунтового массива. Численные расчеты по вышеприведенному алгоритму показали, что распределения напряжений в замковом сечении и относительных деформаций вертикального диаметра трубы отличаются от нормального с положительной асимметрией. Авторами для распределений выходных параметров НДС подобран аналитический закон в виде гамма-распределения, определены параметры распределения и вычислены максимальные значения напряжений и деформаций с заданной обеспеченностью.

В [7] авторами с использованием плоской конечноэлементной расчетной схемы выполнены вероятностные расчеты методом статистических испытаний. Для стержневых конечных элементов грунта, непосредственно соприкасающегося с трубой, коэффициент жесткости принят случайной величиной, распределенной по нормальному закону. Остальная часть грунтового массива, представленная плоскими треугольными и прямоугольными конечными элементами, образует детерминированную зону. Численный эксперимент показал, что распределение напряжений в замковом сечении трубы при незначительном исправлении статистического ряда, не отличается от нормального. Выбросы при этом составили 8% от количества членов ряда. Распределение же относительных деформаций вертикального диаметра трубы существенно отличается от нормального с положительной асимметрией. Авторами для этого распределения подобран двухпараметрический закон Вейбулла.

По мнению авторов асимметрия законов распределения параметров НДС трубы обусловлена наличием арочного эффекта и безотпорной зоны в верхней части трубы.

## Выводы

Использование в настоящее время так называемых инженерных методов расчета, входящих в первую группу, является нецелесообразным, так как они не учитывают пространственную работу конструкции, наличие безотпорной зоны, арочного эффекта и других особенностей совместного деформирования трубы и окружающей грунтовой среды. Современные же программные комплексы, реализующие различные численные методы,

позволяют выполнить расчеты с учетом многих особенностей на более современном уровне.

#### Библиографический список

1. Бугаева О.Е. Проектирование обделок транспортных тоннелей/О.Е.Бугаева. -Л.: ЛИИЖТ,1966.-75с.
2. Габриелян Г.Е. Расчёт кольца в упругой среде с односторонними связями//Тезисы докладов международной конференции «Студент и прогресс строительной индустрии»/МИСИ.-М.,1991.-С.35-36.
3. Осокин И.А. О возможностях применения теории полубезмоментных оболочек В.З. Власова к расчёту металлических гофрированных конструкций/ И.Г. Овчинников, И.А. Осокин//Науковедение. - 2014.-Вып.4.-19с.
4. Черников А.В. Определение напряженно-деформированного состояния гофрированных водопропускных труб с эксплуатационными дефектами на основе полубезмоментной теории оболочек/А.В. Черников, В.А. Козлов// Строительная механика и конструкции. - 2021. -Вып.2(29). - С.12-28.
5. Габриелян Г.Е. Расчетный анализ влияния параметров системы «труба-грунтовый массив» на напряженно-деформированное состояние водопропускных труб / Г.Е. Габриелян, Ив Ндайрагидже // Строительная механика и конструкции. – 2015. – Вып.№2 (11). – С. 71-77.
6. Сафронов В.С. Расчёт гибких водопропускных труб с учётом разброса характеристик деформативности грунта насыпи/ В.С. Сафронов, Г.Е. Габриелян// Современные методы статического и динамического расчёта сооружений и конструкций. - 1998. – Вып.4. – С.24-31.
7. Сафронов В.С. Вероятностный расчёт напряженно-деформированного состояния гибких водопропускных труб/ В.С. Сафронов, Г.Е. Габриелян// Современные методы статического и динамического расчёта сооружений и конструкций. – Воронеж, 2000. – С.144-149.

#### References

1. Bugaeva O.E. Design of transport tunnel linings/ O.E. Bugaeva.- L.:LIIZHT, 1966.-75p.
2. Gabrielyan G.E. Calculation of a ring in an elastic medium with one-way connections// Abstracts of the reports of the international conference «Student and progress of construction industry»/MISI. – M., 1991. – P.35-36.
3. Osokin I.A. On the possibility of applying the theory of semimomentless sheels of V.Z. Vlasov to the calculation of metal corrugated structures// I.G. Ovchinnikov, I.A. Osokin// Science. – 2014. – Issue 4. -19p.
4. Chernikov A.V. Determination of the mode of deformation of corrugated water pipes with operating defects on semi-terminal shell theory/ A.V. Chernikov, V.A. Kozlov// Structural mechanics and structures. -2021. – Issue 2(29). – P.12-28.
5. Gabrielyan G.E. Calculation analysis of the system "pipe-ground massif" parameters influence on pipe deflected mode / G. E. Gabrielyan, Iv Ndairagidzhe // Structural Mechanics and Structures. – 2015. -Issue №2 (11). – P. 71-77.
6. Safronov V.S. Calculation of flexible culverts taking into account the spread of the characteristics of the deformability of the embankment soil/ V.S. Safronov, G.E. Gabrielyan// Modern methods of static and dynamic calculation of buildings and structures. – 1998. – Issue 4. – P.24-31.
7. Safronov V.S. Probabilistic calculation of the stress-strain state of flexible culverts/ V.S. Safronov, G.E. Gabrielyan// Modern methods of static and dynamic calculation of buildings and structures. – Voronezh, 2000. – P.144-149.

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доцент кафедры теплога-  
зоснабжения и нефтегазового дела*

*Д.Н. Китаев*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-71-53-21*

*e-mail: dim.kit@rambler.ru*

*Магистрант кафедры теплогазоснабже-  
ния и нефтегазового дела*

*А.С. Бакай*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-71-53-21*

*e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*Студент кафедры теплогазоснабжения и  
нефтегазового дела*

*В.Ф. Моросников*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-71-53-21*

*e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*Voronezh State*

*Technical University*

*Ph.D. (Engineerin), Assoc Prof. of Department  
of Heat and Gas Supply and Oil and Gas*

*Business D.N. Kitaev*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 2-71-53-21*

*e-mail: dim.kit@rambler.ru*

*Master student of Department of Heat and Gas  
Supply and Oil and Gas Business*

*A.S. Bakai*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 2-71-53-21*

*e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*Master student of Department of Heat and Gas  
Supply and Oil and Gas Business*

*V.F. Morosnikov*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 2-71-53-21*

*e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

Д.Н. Китаев, А.С. Бакай, В.Ф. Моросников

## **УТОЧНЕНИЕ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ПАРОВОГО КОТЛА**

Представлены результаты расчета КПД котлоагрегата на основе нормативного метода теплового расчета[1]. В уточненной методике предусматривается отказ от графического метода нахождения данных при определении энтальпии газов и значения потери теплоты с поверхности котла. Проведено сравнение результатов, полученных при использовании стандартного и уточненного метода. Показано, что разница в значениях КПД и расходе топлива может быть существенной.

**Ключевые слова:** котел, тепловой расчет, коэффициент полезного действия, тепловой баланс.

D.N. Kitaev, A.S. Bakai, V.F. Morosnikov

## **REFINED CALCULATION OF EFFICIENCY STEAM BOILER**

The results of calculating the efficiency of the boiler unit based on the standard method of thermal calculation are presented [1]. The revised methodology provides for the rejection of the graphical method of finding data when determining the enthalpy of gases and the value of heat loss from the boiler surface. A comparison of the results obtained using the standard and refined methods is carried out. It is shown that the difference in efficiency and fuel consumption can be significant.

**Key words:** boiler, thermal calculation, efficiency, heat balance.

Тенденцией сегодняшнего времени является широкое внедрение информационных технологий в проектирование [2,3,7]. Подобные технологии позволяют повысить скорость вычислительного процесса и увеличить его точность. Для определения КПД и расхода топлива при тепловом расчете котлоагрегата необходимо предварительно построить  $I-t$  (энтальпия – температура) диаграмму продуктов сгорания топлива с целью определения по ней значений при различных температурах [4,5]. При нахождении потерь теплоты с поверхности обмуровки котла используется специальный график [1]. Использование графического метода вносит субъективность в расчет и способствует ошибкам. Традиционным методом рекомендуется рассчитывать значения энтальпий для крайних возможных значений диапазонов температур конкретного места газового тракта котлоагрегата. При таком подходе предполагается линейная зависимость энтальпии от температуры [6].

Рассмотрим пример расчета состава продуктов сгорания топлива и значения энтальпий на примере угля Кузнецкого бассейна марки 2СС класса СШ при слоевом способе сжигания. Для котла КЕ-4-14 используется механическая топка типа ТЛЗМ. Для такого типа топок могут использоваться грохоченные а также рядовые бурые и каменные угли. Содержание мелочи класса 0 – 6 мм не должно превышать 60%, а максимальный размер куска топлива не более 50мм. Коэффициент избытка воздуха в конце топки согласно техническим характеристикам должен быть 1,3-1,5. Примем в расчете значение 1,3. Рассматриваемый котел имеет два конвективных пучка. Рассмотрим установку чугунного экономайзера. Состав топлива в процентах и задаваемые коэффициенты избытка воздуха  $\alpha$  имеют следующие значения:  $S^P = 66$ ;  $S_{л}^P = 0,4$ ;  $H^P = 3,5$ ;  $O^P = 3,5$ ;  $N^P = 1,6$ ;  $W^P = 8,5$ ;  $A^P = 16,5$ ;  $\alpha$  топки ( $\alpha_T$ )=1,3;  $\alpha$  первого конвективного пучка ( $\alpha_1$ )=1,4;  $\alpha$  второго конвективного пучка ( $\alpha_2$ )=1,5;  $\alpha$  экономайзера ( $\alpha_{ЭК}$ )=1,6;  $\alpha$  уходящих газов ( $\alpha_{УХ}$ )=1,7.

В таблице 1 представлены результаты расчета объемов продуктов сгорания топлива согласно методике, приведенной в нормативном методе расчета котлоагрегатов [1] при заданных исходных данных.

Таблица 1

Объемы продуктов сгорания топлива, м<sup>3</sup>/кг

Величина	$\alpha=1$	$\alpha_T$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_{ЭК}$	$\alpha_{УХ}$
$V^0$	6,6917	6,6917	6,6917	6,6917	6,6917	6,6917
$V_{RO_2}$	1,2344	1,2344	1,2344	1,2344	1,2344	1,2344
$V_{R_2}$	5,2992	7,3067	7,9759	8,6451	9,3142	9,9834
$V_{H_2O}$	0,6016	0,6340	0,6447	0,6555	0,6663	0,6771
$V_{Г}$	7,1352	9,1751	9,8550	10,5349	11,2149	11,8948
$r_{RO_2}$	0,1730	0,1345	0,1253	0,1172	0,1101	0,1038
$r_{H_2O}$	0,0843	0,0691	0,0654	0,0622	0,0594	0,0569

Задаваясь крайними значениями диапазонов температур, для топки 800°С и 2000°С, для первого конвективного газохода 400°С и 1100°С, для второго конвективного газохода 300°С и 700°С, экономайзера 400°С и 100°С, уходящих газов 100°С и 300°С, с учетом данных таблицы 1, определяем энтальпии продуктов сгорания топлива  $I_{Г}$ , ккал/кг по формуле

$$I_{Г} = V_{RO_2}(ct)_{CO_2} + V_{R_2}^0(ct)_{N_2} + V_{H_2O}^0(ct)_{H_2O} + (\alpha - 1)V^0(ct)_B + 0,0025A^P(ct)_3, \quad (1)$$

где  $c$  - значение средней объемной изобарной теплоемкости, ккал/(м<sup>3</sup>°С);

$t$  – температура, °С.

По результатам расчета построена диаграмма, представленная на рис.1.

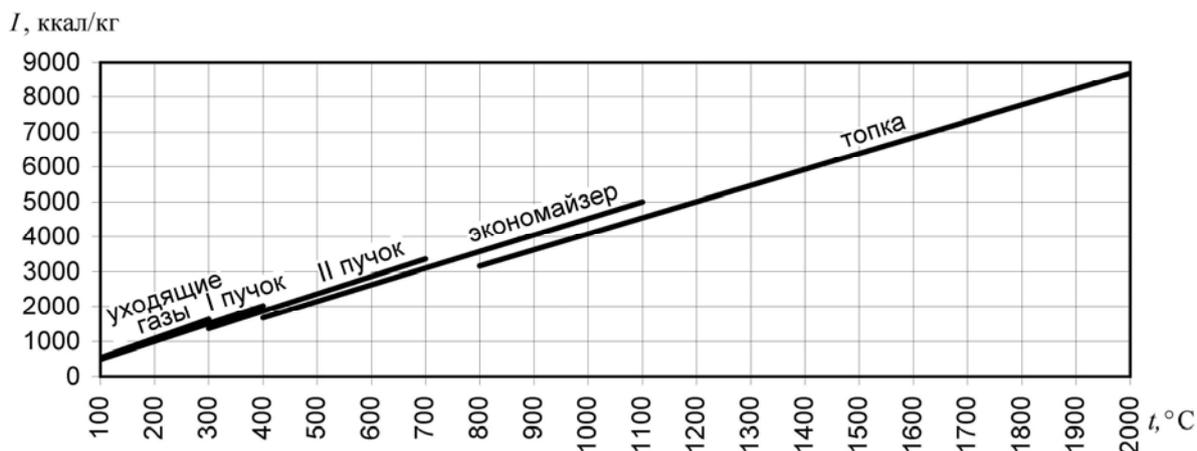


Рис. 1.  $I-t$  диаграмма продуктов сгорания топлива

Диаграммой, представленной на рис.1 необходимо пользоваться для определения значения энтальпий по задаваемым температурам. При определении потерь теплоты с уходящими газами  $q_2$  по задаваемой температуре определяют значение энтальпии уходящих газов  $I_{yx}$  и используют формулу

$$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{xв}^0) \cdot (100 - q_4)}{Q_p^n}, \quad (2)$$

где  $Q_p^n$  – низшая теплота сгорания рабочей массы топлива, ккал/кг;

$q_4$  – потери теплоты от механического недожога, %.

$I_{xв}^0$  – энтальпия теоретического объема холодного воздуха, ккал/кг;

Более точное значение  $q_2$  можно получить проводя расчеты значений энтальпий с интервалом в  $100^\circ\text{C}$ , а не только для крайних значений диапазонов температур. Тогда используя механизм линейной интерполяции, можно более точно определить значение энтальпии при температуре уходящих газов  $I_{yx}$ .

Для определения потерь теплоты с поверхности обмуровки котла  $q_5$  необходимо использовать специальный график [1]. Шаг основных линий графика составляет 5 кг/с, а в нашем случае необходимо определить потери при расходе 1,112 кг/с ( $D=4\text{т/ч}$ ). С целью исключения ошибки нахождения значения  $q_5$  по графику (особенно в диапазоне значений малой паропроизводительности  $D$ ) была проведена аппроксимация графика с разбиением на 3 диапазона, позволяющие использовать линейную и две квадратичные зависимости удобные для расчета

$$1,8 \leq D \leq 7,19 \text{ т/ч}, q_5 = 3,8188 - 0,2411D, \quad (3)$$

$$7,19 \leq D \leq 16,19 \text{ т/ч}, q_5 = 0,0073D^2 - 0,2481D + 3,4968, \quad (4)$$

$$16,19 \leq D \leq 54 \text{ т/ч}, q_5 = 0,000246D^2 - 0,030117D + 1,81127. \quad (5)$$

Итоговое значение коэффициента полезного действия котлоагрегата  $\eta_{ка}^{бп}$  (без учета собственных нужд котельной) определяется по выражению [1]:

$$\eta_{ка}^{бп} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \quad (6)$$

где  $q_3, q_6$  – тепловые потери от химического недожога и потери со шлаком, %.

Результаты расчета КПД котлоагрегата и расхода топлива  $B$  по стандартному и уточненному методу, а также значения разницы, представлены в табл.2. В расчетах принята температура уходящих газов  $180^\circ\text{C}$ , потери  $q_3 = 0,5\%$ ,  $q_4 = 5\%$  согласно рекомендациям [1] для рассматриваемого топлива и способа сжигания. Значение потери теплоты со шлаком составляет 0,2941%.

## Результаты расчетов

Величина	$I_{ух}$ , ккал/кг	$q_2$ , %	$q_5$ , %	$\eta_{ка}^{пр}$ , %	$B$ , кг/ч
Стандартный метод	980	14,751	3,2	76,25	505,47
Уточненный метод	963,37	14,471	2,854	76,88	501,353
Абсолютная погрешность	16,63	0,28	0,346	-0,63	4,117
Относительная погрешность, %	1,70	1,90	10,81	0,83	0,81

Из таблицы 2 следует, что наибольшее отклонение наблюдается для значения потерь теплоты в окружающую среду с поверхности котла (10,81%), разница по энтальпии уходящих газов и потери с уходящими газами тоже существенны и составляют 1,7% и 1,9% соответственно. Разница по КПД котлоагрегата кажется не значительной, но она приводит к разнице фактического расхода топлива в 4,117 кг/ч. Если предположить среднегодовую загрузку котла в размере 70% от номинальной, то за год получим разницу в расходе топлива:  $4,117 \cdot 365 \cdot 24 = 36064,92$  кг = 36,065 т/ч. С учетом средней цены топлива 9000 р/т, получим за год 324585р.

## Выводы

1. На примере расчета коэффициента полезного действия парового котла КЕ 4-14 показано, что использование графического метода определения энтальпий и потерь теплоты с поверхности обмуровки может вносить ошибки в расчет.
2. Предложена уточненная методика расчета КПД котлоагрегата, включающая расчет значений энтальпий с интервалом в 100°C, использование линейной интерполяции для нахождения промежуточных значений, использование аналитических уравнений для нахождения потерь теплоты с поверхности котла.

## Библиографический список

1. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Издательство НПО ЦКТИ, СПб, 1998. – 256с.
2. Китаев, Д.Н. Использование цифровых технологий в тепловом расчете теплогенерирующих установок / Д.Н. Китаев, А.Т. Курносов, А.В. Черемисин, З.С. Гасанов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2020. – Т.2 – №1(39). – С. 114 – 118.
3. Черных, Е.М. Математическая модель конвективного теплопереноса при зарядке теплового аккумулятора / Е.М. Черных, Д.Н. Китаев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2007. – Т.3. - №6. – С. 124-128.
4. Курносов, А.Т. Конструкции и характеристики теплогенераторов и их топочных устройств / А.Т. Курносов, Д.Н. Китаев, А.С. Бабич. – Воронеж. Изд-во ВГАСУ, 2007. – 50с.
5. Китаев, Д.Н. Перспективные схемы использования когенерационных установок в системах теплоснабжения / Д.Н. Китаев, А.В. Золотарев, Н.С. Шестых // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – №2(7). – С. 26 – 29.
6. Китаев, Д.Н. Нелинейная зависимость теплоемкости идеального газа от температуры / Д.Н. Китаев, Е.М. Черных // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008. – Т.4. -№12. – С. 36-40.

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

#### References

1. Thermal calculation of boilers (normative method). Publishing house NPO CKTI, St. Petersburg, 1998. – 256p.

2. Kitaev, D.N. The use of digital technologies in the thermal calculation of heat generating installations / D.N. Kitaev, A.T. Kurnosov, A.V. Cheremisin, Z.S. Gasanov // Scientific journal. Engineering systems and structures. - 2020. - V.2 - No. 1 (39). - P. 114 - 118.

3. Chernykh, E.M. Mathematical model of convective heat transfer when charging a heat accumulator / E.M. Chernykh, D.N. Kitaev // Bulletin of the Voronezh State Technical University. - 2007. - V.3. - No. 6. - P. 124-128.

4. Kurnosov, A.T. Designs and characteristics of heat generators and their furnace devices / A.T. Kurnosov, D.N. Kitaev, A.S. Babich. - Voronezh. Publishing house of VGASU, 2007. - 50p.

5. Kitaev, D.N. Perspective schemes for the use of cogeneration plants in heat supply systems / D.N. Kitaev, A.V. Zolotarev, N.S. Sixth // Scientific journal. Engineering systems and structures. - 2012. - No. 2 (7). - P. 26 - 29.

6. Kitaev, D.N. Nonlinear dependence of the heat capacity of an ideal gas on temperature / D.N. Kitaev, E.M. Chernykh // Bulletin of the Voronezh State Technical University. - 2008. - V.4. - No 12. - P. 36-40.

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

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации», старший научный сотрудник; ОАО «Гипрогор», главный специалист по инженерному оборудованию территории К.В. Шишов;

Россия, г. Москва Тел. +7(926)374-80-06

e-mail: [terinform@list.ru](mailto:terinform@list.ru)

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации», старший научный сотрудник Е.В. Климова.

Россия, г. Москва Тел. +7(909)949-02-29

e-mail: [eklimova58@mail.ru](mailto:eklimova58@mail.ru)

FGBI "Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation", Senior Researcher; Giprogor OJSC, Chief Specialist in Engineering Equipment

K.V. Shishov;

Russia, Moscow tel. +7(926)374-80-06

e-mail: [terinform@list.ru](mailto:terinform@list.ru)

FGBI "Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation", Senior Researcher

E.V. Klimova.

Russia, Moscow tel. +7(909)949-02-29

e-mail: [eklimova58@mail.ru](mailto:eklimova58@mail.ru)

К.В. Шишов, Е.В. Климова

### **АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ И КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ В НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

В статье сравниваются федеральные своды правил, региональные и местные нормативы градостроительного проектирования в части водоснабжения. В настоящее время многие экологические проблемы поселений и городских округов напрямую связаны с дефицитом воды, что сдерживает развитие курортной базы, возможность увеличения рекреационной нагрузки.

**Ключевые слова:** градостроительное проектирование, генеральный план, система водоснабжения, расчетные показатели водопотребления, курортно-рекреационная зона.

K.V. Shishov, E.V. Klimova

### **ANALYSIS OF WATER CONSUMPTION INDICATORS OF MUNICIPALITIES OF THE REPUBLIC OF CRIMEA AND KRASNODAR KRAI IN REGULATORY DOCUMENTATION**

The article compares federal codes of practice, regional and local standards for urban design in terms of water supply. Currently, many environmental problems of settlements and urban districts are directly related to water shortages, which hinders the development of the resort base, the possibility of increasing the recreational load.

**Keywords:** urban planning, master plan, water supply system, design indicators of water consumption, resort and recreational area.

Статья основана на результатах работ авторов по выполнению фундаментальных научных исследований Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации и Российской академии архитектуры и строительных наук в 2016 – 2021гг.

Целью исследования является анализ нормативной документации различного уровня в области водоснабжения городов Геленджик, Судак, Евпатория, Феодосия, выполненных ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» и ОАО Гипрогор. Рассматриваются и сравниваются федеральные своды правил, региональные и местные нормативы градостроительного проектирования.

Актуальность проблемы водоснабжения Черноморских курортных городов стоит особенно остро по ряду причин:

- в нынешнем постковидном сезоне, как и в 2020-2021 гг., Крым и курорты Краснодарского края могут оказаться не готовы к наплыву отдыхающих;

- региональные, а за ними и местные нормативы водопотребления должны быть пересмотрены в соответствии с принятым 28 января 2022 г. СП 31.13330.2021 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [1];

- в градостроительной документации не проработаны пути развития и реализация мероприятий по реконструкции и модернизации инженерных систем, в том числе водоснабжения.

Федеральным действующим нормативом в области водоснабжения является СП 31.13330.2021. Настоящий свод правил устанавливает расчетные расходы воды при проектировании систем водоснабжения поселений и городских округов. Этот норматив, в свою очередь, пересматривает СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения, который, в свою очередь, являлся актуализированной редакцией СНиП 2.04.02-84\* [2,3].

В данной статье мы рассмотрим только нормативы водоснабжения, так как эта проблема в преддверии курортного сезона 2022 года стоит очень остро как в Крыму, так и на курортах Краснодарского края. Что касается других острых проблем поселений и городских округов, таких как водоотведение и ливневая канализация, а также нормативов обеспеченности инженерной инфраструктурой курортных объектов, гостиниц и санаториев - эти вопросы попробуем осветить в отдельных публикациях. В таблице 1 проведем сравнение расчетных расходов воды в СНиП 2.04.02-84\*, СП 31.13330.2012 и СП 31.13330.2021.

Таблица 1

Расчетное хозяйственно-питьевое водопотребление

Расчетное (суммарное) хозяйственно-питьевое водопотребление в поселениях и городских округах на одного жителя среднесуточное (за год), л/сут		
СНиП 2.04.02-84*	СП 31.13330.2012	СП 31.13330.2021
Жилая застройка, оборудованная внутренним водопроводом и канализацией		
125-160 без ванн	-	-
160-230 с ванными и местными водонагревателями	140-190 с ванными и местными водонагревателями	140-180 с ванными и местными водонагревателями
230-350 с централизованным горячим водоснабжением	195-220 с централизованным горячим водоснабжением	165-180 с централизованным горячим водоснабжением

Сравнительный анализ изменений в федеральных нормативах в области водоснабжения позволил сделать следующие выводы:

1. Отмечается значительное снижение показателя удельного среднесуточного водопотребления во всех типах застройки, оборудованной внутренним водопроводом и канализацией;

2. Примечания к таблице претерпели следующие изменения:

- в СНиП 2.04.02-84\* присутствовал показатель удельного среднесуточного водопотребления с водопользованием из водоразборных колонок на одного жителя - 30-50 л/сут, который не учтен в последующих СП;

- считаем важным, что в СП 31.13330.2021 возвращены условия зависимости норм расчетного водопотребления от климатических условий, мощности источника водоснабжения и качества воды, степени благоустройства, этажности и типа застройки;

- в СП 31.13330.2021 внесено дополнение, касающееся разработки региональных и местных нормативов градостроительного проектирования (РНГП и МНГП), в которых допускается принимать увеличенные относительно рекомендуемых значений показатели расчетного хозяйственно-питьевого водопотребления.

В 2016 – 2018 гг. в Республике Крым и Краснодарском крае были разработаны и утверждены РНГП, входящие в систему нормативных правовых актов, регламентирующих градостроительную деятельность, которые также конкретизируют и развивают основные положения действующих федеральных норм, при этом РНГП не заменяют и не исключают применения требований федеральных норм и правил [4,5,6].

РНГП направлены на уточнение показателей в части водоснабжения с целью обеспечения благоприятных условий жизни населения, как постоянного, так и временного, а также на устойчивое развитие территорий с учетом социально-экономических, территориальных и иных особенностей муниципальных образований и населенных пунктов.

В таблице 2 приводятся установленные в региональных нормативах градостроительного проектирования расчетные показатели водопотребления.

Таблица 2

Расчетные показатели водопотребления для населения Республики Крым

Степень благоустройства поселений	Расчетный показатель водопотребления, л/сут
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией, без ванн	125-160
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией, ваннами и местными водонагревателями	160-230
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией, централизованным горячим водоснабжением	220-280

Анализ РНГП Республики Крым и Краснодарского края выявил следующие аспекты:

- в РНГП Краснодарского края в таблице 12.1 расчетные (удельные) средние за год суточные расходы воды в жилых зданиях основываются, а по некоторым показателям превышают нормы СП 30.13330.2020 Внутренний водопровод и канализация зданий [7];

- расчетные показатели водопотребления в СП 31.13330.2021 имеют значение ниже региональных показателей и после проведенного сравнительного анализа можно сделать вывод о целесообразности корректировки РНГП в соответствии с действующим СП.

Проектирование генеральных планов и проектов планировки курортных городов, основывается на МНГП, где вопросы инженерного обеспечения являются в настоящее время основополагающими для социально-экономического развития регионов.

Системы водоснабжения многих городов Черноморского побережья, таких как Феодосия, Евпатория, Судак и др. достались России практически полностью в аварийном состоянии. Износ водоводов и водопроводных сетей в населенных пунктах составляет более 90%, а доля потерь и утечек достигает 50 - 60 % по отношению к подаче воды. В некоторых городах, например, на территории городского округа Евпатория, станции водоподготовки отсутствуют, что отмечено в региональной программе Республики Крым по повышению качества водоснабжения на 2019-2024 годы [8].

Интересно сравнить состояние проблемы водообеспечения некоторых городов Крыма и Краснодарского края, интенсивно развивающихся в настоящее время, подробно остановившись на городском округе Судак (ГО Судак) и городе-курорте Геленджик.

### **Муниципальные образования ГО Феодосия и ГО Евпатория**

Проектирование на территории городских округов осуществляется в соответствии с утвержденными Местными нормативами градостроительного проектирования. Анализ МНПП показал, что эти нормативы соответствуют РНПП Крыма, при этом добавлены показатели водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды в жилой застройке без водопровода с уличной водоразборной колонкой, что важно для частной малоэтажной застройки [9,10].

В таблице 3 приводятся Расчетные показатели водопотребления для населения ГО Феодосия и ГО Евпатория.

Таблица 3

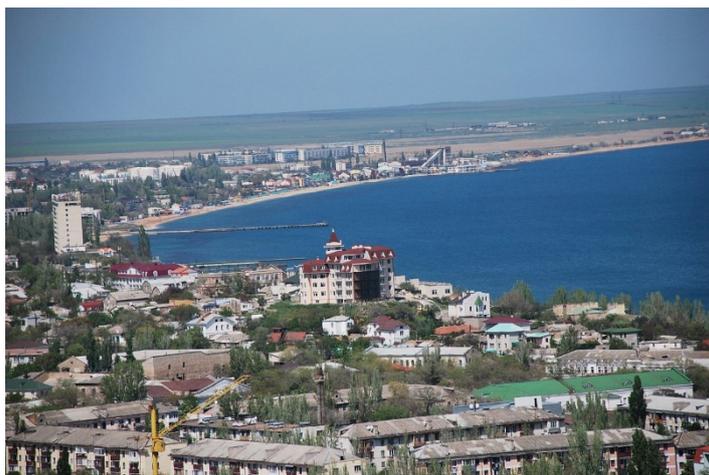
Расчетные показатели водопотребления для населения

Водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды	Удельное водопотребление, л/сут на 1 жителя
В жилой застройке:	
- с водопроводом, канализацией, ваннами, с центральным горячим водоснабжением	220-280
- с водопроводом, канализацией, ваннами, с газовыми водона-	160-230
- с водоснабжением, канализацией, без ванн	125-160
- без водопровода с уличной водоразборной колонкой	30-50

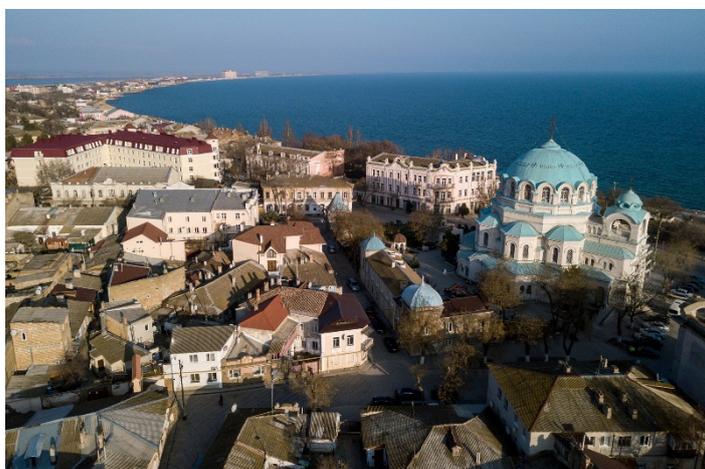
На наш взгляд, для развития курортов, отвечающих мировым экологическим стандартам, необходимо введение для жилой и курортной застройки (апартаменты) категорийности комфортности жилья, которые следует учитывать при разработке расчётных показателей водопотребления.

Фактическое значение охвата населения централизованным водоснабжением в городах составляет до 90%, горячим водоснабжением – 80%, в то же время, централизованное водоснабжение, как правило отсутствует в районах частной жилой застройки. Техническое перевооружение систем водоснабжения повысит их надежность и безопасное функционирование, сократит аварийность на распределительных сетях, для чего, например, в генеральном плане ГО Евпатория заложено проектирование новых источников водоснабжения, таких как подземный источник производительностью 20 тыс. куб. м/сут, строительство которого предусмотрено Схемой водоснабжения и водоотведения Республики Крым [11].

На рисунках 1, 2 показана разноплановая жилая застройка курортных городов – существующая смешанная застройка 2-5 этажей, многоэтажные объекты нового строительства, требующая различных подходов к организации водоснабжения.



**Рис. 1.** Застройка ГО Феодосия [12]



**Рис. 2.** Застройка ГО Евпатория [13]

### **Развитие инженерной инфраструктуры в части водоснабжения ГО Судак**

Городской округ Судак расположен в вододефицитной восточной части полуострова Крым. Основными проблемами систем хозяйственно-питьевого водоснабжения, как и на всей территории Республики Крым, являются;

- недостаточность обеспечения населения водой нормативного качества;
- высокий физический и моральный износ водопроводных сетей и сооружений. Распределительные сети фактически отработали свой ресурс, в связи с этим более 35% воды питьевого качества теряется при ее транспортировке потребителям.

Анализ МНГП ГО Судак показал, что эти нормативы соответствуют РНГП Крыма, при этом добавлены показатели водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды в жилой застройке без водопровода с уличной водоразборной колонкой, также как в таблице 3 по ГО Феодосия и ГО Евпатория.

Отметим, что в ГО Судак водопотребление временного населения рассчитывалось на основе прогнозного роста туристического потока (организованного и неорганизованного), а также с учетом дифференциации туристов по времени пребывания в зависимости от типа местопребывания (санатории, пансионаты, дома отдыха, детские лагеря, городской или сельский частный сектор) в соответствии с рекомендациями СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения и СП 30.13330.2012 Внутренний водопровод и канализация зданий.

В утвержденном генеральном плане ГО Судак для решения основной проблемы покрытия дефицита в воде хоз-питьевого качества было предложено применить комбинированную схему подачи воды от поверхностных и подземных источников. Предлагаемая схема позволит в зимне-весенний период направлять избыток воды потребителям ГО Судак из намечаемых поверхностных источников, снижая отбор воды в этот же период из подземных источников, обеспечивая тем самым восстановление подземных водных ресурсов, и возможность форсированного водоотбора из них летом.

На рисунке 3 показана неупорядоченная разноэтажная жилая застройка, требующая модернизации водопроводных сетей для повышения их надежности и безопасного функционирования, особенно во время пиковых нагрузок летнего курортного сезона.



Рис. 3. Застройка ГО Судак [14]

### Город-курорт Геленджик Краснодарского края

Особенностью города-курорта Геленджик является то, что высокий процент жилищного фонда приходится на частную форму собственности, распространены частные гостиницы и пансионаты, сдача жилья внаем, что существенно затрудняет объективный учет воды. В таблице 4 приводятся расчетные показатели водопотребления для населения по МНПП [15].

Таблица 4

Расчетные показатели водопотребления для населения

Наименование объекта	Минимально допустимый уровень обеспеченности л/сут на 1 жителя
Водоснабжение, зона застройки многоквартирными (мало-, средне- и многоэтажными) домами с местными водонагревателями	210
То же с централизованным горячим водоснабжением	250
Водоснабжение, зона застройки индивидуальными жилыми домами с местными водонагревателями	210
То же с централизованным горячим водоснабжением	250
Гостиницы, пансионаты	230
Санатории и дома отдыха	150

Анализ таблицы 4 позволяет сделать вывод, что заложенные в МНПП расчётные показатели водопотребления для жилой застройки превышают аналогичные показатели СП 31.13330.2021 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.

В связи с прогнозируемым ростом численности постоянного населения, прогнозируемым увеличением туристического потока в 2022 году, связанного с отменой ограничений Covid-19, в разрабатываемом генеральном плане предусмотрено обеспечение централизованным водоснабжением всех населенных пунктов города-курорта Геленджик и увеличение потребления воды:

- по городу Геленджик – на 22,1%;
- по Архипо-Осиповскому сельскому округу – на 13,6%;
- по Дивноморскому сельскому округу – на 34,3%;
- по Кабардинскому сельскому округу – на 8,9%;
- по Пшадскому сельскому округу – на 16,7%.

На рисунке 4 мы видим многоэтажный объект нового строительства, разрушающий природно-ландшафтную структуру города Геленджик.



Рис. 4. Застройка города Геленджик (фото Шишов К.В.)

#### Выводы

В курортный сезон 2022 года в условиях снятия ограничений, связанных с пандемией Covid-19 и экономической нестабильностью, внутренний туризм остается наиболее доступным отдыхом для большинства граждан страны, что требует интенсивного ускоренного развития черноморских курортов.

Увеличение численности населения городов Крыма и Краснодарского края, связанное с увеличением постоянного населения (покупка жилья и апартаментов), а также неконтролируемый рост числа отдыхающих требует корректировки нагрузок на инженерную инфраструктуру, что должно найти отражение в РНГП и МНГП. В то же время, в РНГП и МНГП Крыма и Краснодарского края, нормы в части водопотребления должны ориентироваться на принятый 28 января 2022 г. СП 31.13330.2021 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.

Завышенные в МНГП расчётные показатели водопотребления для жилой застройки, например, в городе-курорте Геленджик приведут к значительному увеличению показателей перспективного водопотребления для новой застройки в разрабатываемой градостроительной документации.

При корректировке РНГП и МНГП рекомендуем приводить расчётные показатели водопотребления для жилой застройки по категории комфортности жилья, а также с учетом утвержденных запасов водных ресурсов (подземные и поверхностные воды).

## Библиографический список

1. СП 31.13330.2021 Свод правил водоснабжение. Наружные сети и сооружения [электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728474306>
2. СП 31.13330.2012 Свод правил водоснабжение. Наружные сети и сооружения Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\* [электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093820>
3. СНиП 2.04.02-84\* Строительные нормы и правила. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001008#7D20K3>
4. Постановление совета министров Республики Крым от 26 апреля 2016 года № 171 [электронный ресурс]. URL: [https://rk.gov.ru/rus/file/pub/pub\\_289138.pdf?ysclid=11gedrk21c](https://rk.gov.ru/rus/file/pub/pub_289138.pdf?ysclid=11gedrk21c)
5. Нормативы градостроительного проектирования Краснодарского края. Утверждены Приказом Департамента по архитектуре и градостроительству Краснодарского края от 16 апреля 2018 года № 78 [электронный ресурс]. URL: <https://admkrain.krasnodar.ru/content/1399/show/433793/>
6. Изменения в региональные нормативы градостроительного проектирования Республики Крым [электронный ресурс]. URL: [https://mstroy.rk.gov.ru/uploads/txteditor/mstroy/attachments/d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpfJKOG9\\_122.pdf](https://mstroy.rk.gov.ru/uploads/txteditor/mstroy/attachments/d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpfJKOG9_122.pdf)
7. СП 30.13330.2020 Свод правил Внутренний водопровод и канализация зданий Internal water supply and sewerage of buildings [электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573741260#7D20K3>
8. Шишов К.В., Климова Е.В. Водоснабжение: пути решения одной из острых инженерных проблем крымского полуострова // Градостроительство. 2021. № 3-4 (73-74). - С. 23-27.
9. № 989 Об утверждении местных нормативов градостроительного проектирования муниципального образования городской округ Феодосия Республики Крым [электронный ресурс]. URL: <https://feo.rk.gov.ru/ru/document/show/5034>
10. Местные нормативы градостроительного проектирования муниципального образования городской округ Евпатория Республики Крым [электронный ресурс]. URL: <http://admin.my-evp.ru/wp-content/uploads/2018/10/%D0%9C%D0%95%D0%A1%D0%A2%D0%9D%D0%AB%D0%95-%D0%9D%D0%9E%D0%A0%D0%9C%D0%90%D0%A2%D0%98%D0%92%D0%AB-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82%D0%B0.pdf>
11. Шишов К.В., Климова Е.В. Проблемы водоснабжения и водоотведения при проектировании приморских городов Крыма // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2020. № 1 (44). С. 25-29.
12. Застройка МО Феодосия [электронный ресурс]. URL: [http://blackseavisits.ru/City/Foto/Feodosia\\_2.jpg](http://blackseavisits.ru/City/Foto/Feodosia_2.jpg)
13. Застройка МО Евпатория [электронный ресурс]. URL: [https://icdn.lenta.ru/images/2019/02/27/19/20190227195810711/original\\_5eea537eb4aa3b673aa52fb6acb34c19.jpg](https://icdn.lenta.ru/images/2019/02/27/19/20190227195810711/original_5eea537eb4aa3b673aa52fb6acb34c19.jpg)
14. Застройка ГО Судак [электронный ресурс]. URL: <https://reghotel.com/wp-content/uploads/Luchshie-oteli-Sudaka.jpg>
15. Приказ от 16 апреля 2015 года N 78 Об утверждении нормативов градостроительного проектирования Краснодарского края [электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/428544016>

## References

1. SP 31.13330.2021 Code of rules water supply. Outdoor networks and facilities [electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728474306>
2. SP 31.13330.2012 Code of rules water supply. Outdoor networks and facilities 2.04.02-84\* [electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093820>
3. SNiP 2.04.02-84\* Building norms and rules water supply. Outdoor networks and structures [electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001008#7D20K3>
4. Decree of the Council of Ministers of the Republic of Crimea dated April 26, 2016 No. 171 [electronic resource]. URL: [https://rk.gov.ru/rus/file/pub/pub\\_289138.pdf?ysclid=11gedrk21c](https://rk.gov.ru/rus/file/pub/pub_289138.pdf?ysclid=11gedrk21c)
5. Standards for urban design of the Krasnodar Territory. Approved by the Order of the Department for Architecture and Urban Planning of the Krasnodar Territory dated April 16, 2018 No. 78 [electronic resource]. URL: <https://admkrain.krasnodar.ru/content/1399/show/433793/>
6. Changes in regional standards for urban planning of the Republic of Crimea [electronic resource]. URL: [https://mstroy.rk.gov.ru/uploads/txteditor/mstroy/attachments/d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpfJKOG9\\_122.pdf](https://mstroy.rk.gov.ru/uploads/txteditor/mstroy/attachments/d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpfJKOG9_122.pdf)
7. SP 30.13330.2020 Code of Practice Internal water supply and sewerage of buildings Internal water supply and sewerage of buildings [electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573741260#7D20K3>
8. Shishov K.V., Klimova E.V. Water supply: ways to solve one of the acute engineering problems of the Crimean peninsula // Urban planning. 2021. No. 3-4 (73-74). - S. 23-27.
9. No. 989 On approval of local standards for urban planning design of the municipality Feodosiya urban district of the Republic of Crimea [electronic resource]. URL: <https://feo.rk.gov.ru/ru/document/show/5034>
10. Local standards for urban planning of the municipality of the urban district of Evpatoria of the Republic of Crimea [electronic resource]. URL: <http://admin.my-evp.ru/wp-content/uploads/2018/10/%D0%9C%D0%95%D0%A1%D0%A2%D0%9D%D0%AB%D0%95-%D0%9D%D0%9E%D0%A0%D0%9C%D0%90%D0%A2%D0%98%D0%92%D0%AB-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82%D0%B0.pdf>
11. Shishov K.V., Klimova E.V. Problems of water supply and sanitation in the design of coastal cities of Crimea // Academic Bulletin UralNIIproekt RAASN. 2020. No. 1 (44). pp. 25-29.
12. Building MO Feodosiya [electronic resource]. URL: [http://blackseavisits.ru/City/Foto/Feodosia\\_2.jpg](http://blackseavisits.ru/City/Foto/Feodosia_2.jpg)
13. Building MO Evpatoria [electronic resource]. URL: [https://icdn.lenta.ru/images/2019/02/27/19/20190227195810711/original\\_5eea537eb4aa3b673aa52fb6acb34c19.jpg](https://icdn.lenta.ru/images/2019/02/27/19/20190227195810711/original_5eea537eb4aa3b673aa52fb6acb34c19.jpg)
14. Building of GO Sudak [electronic resource]. URL: <https://reghotel.com/wp-content/uploads/Luchshie-oteli-Sudaka.jpg>
15. Order of April 16, 2015 N 78 On the approval of the standards for urban design of the Krasnodar Territory [electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/428544016>

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 625.732

*Воронежский государственный  
технический университет  
студент группы САС-161 И.Н. Волков  
e-mail: [ivan1900volkov@mail.ru](mailto:ivan1900volkov@mail.ru)  
студентка группы Б-АМТ-181  
М.А. Габриелян  
e-mail: [gabrielyan-525@mail.ru](mailto:gabrielyan-525@mail.ru)  
студент группы Б-ПГС 181  
С.Н. Волков  
e-mail: [sergeyvolkov2001@gmail.com](mailto:sergeyvolkov2001@gmail.com)  
студент группы мЭТМ-191  
С.В. Кривобоков  
e-mail: [krivobokovsergeyy@rambler.ru](mailto:krivobokovsergeyy@rambler.ru)  
студент группы мЭТМ-191  
Р.Е. Подвигин  
e-mail: [noone798r@yandex.ru](mailto:noone798r@yandex.ru)  
Кандидат технических наук, доцент ка-  
федры строительной техники и инженер-  
ной механики имени проф. Н.А.Ульянова  
Н.М. Волков  
e-mail: [volkne@bk.ru](mailto:volkne@bk.ru)*

*Voronezh State  
Technical University  
student of group САС-161 I.N. Volkov  
e-mail: [ivan1900volkov@mail.ru](mailto:ivan1900volkov@mail.ru)  
student of group B-AMT-181  
M.A. Gabrielyan  
e-mail: [gabrielyan-525@mail.ru](mailto:gabrielyan-525@mail.ru)  
student of group B-PGS 181  
S.N. Volkov  
e-mail: [sergeyvolkov2001@gmail.com](mailto:sergeyvolkov2001@gmail.com)  
student of the METM-191 group  
S.V. Krivobokov  
e-mail: [krivobokovsergeyy@rambler.ru](mailto:krivobokovsergeyy@rambler.ru)  
student of the METM-191 group  
R.E. Podvigin  
e-mail: [noone798r@yandex.ru](mailto:noone798r@yandex.ru)  
Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor of the Department of Construction  
Equipment and Engineering Mechanics named  
after prof. N.A. Ulyanova N.M. Volkov  
e-mail: [volkne@bk.ru](mailto:volkne@bk.ru)*

И.Н. Волков, М.А. Габриелян, С.Н. Волков, С.В. Кривобоков, Р.Е. Подвигин, Н.М. Волков

## АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ И СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТЬЮ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Приведены способы борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. Также проведено сравнение их между собой и выявлено, когда какой способ лучше всего использовать. Рассмотрены различные стратегии борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах.

**Ключевые слова:** дорога, зимняя скользкость, противогололедные материалы, прочность, профилактика, удаление.

I.N. Volkov, M.A. Gabrielyan, S.N. Volkov, S.V. Krivobokov, R.E. Podvigin, N.M. Volkov

## ANALYSIS OF STRATEGIES AND WAYS TO COMBAT WITH WINTER SLIPPERITY ON ROADS

Methods for combating winter slipperiness on roads have been carried out. They were also compared with each other and revealed when which method is best to use. Various strategies for combating winter slipperiness on roads are considered.

**Key words:** road, winter slipperiness, anti-icing materials, strength, prevention, removal.

На протяжении зимнего периода, обледенение отмечается практически на всех автомобильных дорогах в стране. С появлением на проезжей части дорог снежно-ледяных образований резко увеличивается скользкость, аварийность и травматизм пешеходов. По данным статистики ГИБДД на обледенелых автотрассах отмечается до 40% дорожно-транспортных происшествий, а по данным министерства здравоохранения до 15% травм разной степени. На скользкой дороге значительно снижается скорость движения автомобилей. При снижении скорости в 2,0 – 2,5 раза производительность автомобиля уменьшается на 30 – 40%, а себестоимость перевозок увеличивается на 25 – 30%. Очень важно проводить борьбу с зимней скользкостью, для предотвращения аварий и более быстрых перевозок.

Зимней скользкостью называют ледяные образования и снежные отложения на поверхности дороги, приводящие к снижению коэффициента сцепления колес автомобиля с поверхностью дороги и ухудшению ровности.

Виды зимней скользкости: *рыхлый снег, снежный накат, гололедица, гололед, мокрый снег.*

**Рыхлый снег** откладывается на дорожном покрытии в виде ровного по толщине слоя. Плотность свежевыпавшего снега может изменяться от 0,06 до 0,20 г/см<sup>3</sup>. В зависимости от содержания влаги снег может быть сухим, влажным и мокрым. При наличии слоя рыхлого снега на дорожном покрытии коэффициент сцепления шин с покрытием снижается до 0,2.

**Снежный накат** представляет собой слой снега, уплотненного колесами проходящего автотранспорта. Он может иметь различную толщину - от нескольких миллиметров до нескольких десятков миллиметров - и плотность от 0,3 до 0,6 г/см<sup>3</sup>. Коэффициент сцепления шин с поверхностью снежного наката составляет от 0,1 до 0,25.

**Гололедица**- слой льда, образовавшийся в результате замерзания воды, которая находилась на теплом мокром покрытии и превратилась в лед при понижении температуры воздуха и охлаждении покрытия до 0°С и ниже.

**Гололед**— нарастающие атмосферные осадки в виде слоя плотного стекловидного льда, образующегося на дорогах в результате десублимации водяного пара на охлаждённых до 0 градусов по Цельсию и ниже поверхностях.

**Мокрый снег**- кашеобразная смесь влажного снега с водой, образовавшаяся при выпадении мокрого снега из облаков или таянии снежного слоя на покрытии при быстром повышении температуры воздуха.

Существует несколько стратегий борьбы с зимней скользкостью. Поисковые исследования и анализ различий в требованиях к уровню содержания дорог позволяют разделить все стратегии на две группы: удаление скользкости переводом снежно-ледяных отложений в другое агрегатное состояние и механическое удаление скользкости. Эти группы операций различаются по показателям, приведенным в требованиях к уровню содержания дорог, применяемым технологиям работ, используемым материалам и техникой, а также временем проведения работ и их цикличностью. Для каждой из групп возможны как ликвидация, так и профилактика образования зимней скользкости.

Классификация стратегий по зимнему содержанию автомобильных дорог приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Классификация стратегий работ по зимнему содержанию дорог

В соответствии с принятой классификацией, дадим краткое описание технологических операций, на основе которого могут быть определены необходимые ресурсы для их реализации и сформированы математические модели для проведения исследований. Разделим все стратегии производства работ по зимнему содержанию на пять видов таблице.

Таблица

Характеристика возможных стратегий проведения работ по зимнему содержанию автомобильных дорог

Стратегия	Наименование	Описание технологии производства работ
I	Ликвидация зимней скользкости	По образовавшемуся слою ледяных отложений распределяются ПГМ с нормами, достаточными для перевода отложений в другое агрегатное состояние
II	Профилактика зимней скользкости	До образования скользкости производится распределение ПГМ с уменьшенными нормами для предотвращения образования скользкости
III	Удаление рыхлого снега с покрытия	Производятся патрульная снегоочистка при выпадении осадков и механическая очистка рыхлого снега с покрытия после их окончания
IV	Профилактика образования снежного наката	Распределяются ПГМ во время снегопада для недопущения уплотнения и сохранения снега в рыхлом состоянии с последующей механической очисткой
V	Распределение фрикционных материалов	Фрикционные материалы в чистом виде или в смеси ПГМ распределяются по слою снежно-ледяных отложений, когда использование ПГМ в чистом виде неэффективно

При зимнем содержании автомобильных дорог применяют химический, комбинированный, фрикционный и физико-химический способы борьбы с зимней скользкостью. Обобщенная схема представлена на рис. 2.

Химический способ основан на использовании химических материалов, обладающих способностью при контакте со снежно-ледяными отложениями переводить их в раствор, не замерзающий при отрицательных температурах.

При химическом способе распределяют чистые ПГМ в твердом (техническая соль, ХКФ, Биомаг и др.) или жидком (ХКМ, Нордикс, Антиснег и др.) виде, с целью предупреждения (профилактический метод) образования зимней скользкости или ликвидации уже образовавшихся снежно-ледяных отложений (снежный накат, стекловидный лед).

Применяют химический способ в различных регионах на дорогах I - II категорий, а также с учетом народнохозяйственного и социального значения дороги.

Комбинированный способ (химико-фрикционный) предусматривает совместное применение химических и фрикционных ПГМ.

Комбинированный способ применяют при необходимости ликвидации снежно-ледяных отложений и повышения коэффициента сцепления на них. При применении этого способа результат борьбы с зимней скользкостью получается такой же, как и при использовании химических ПГМ.

Фрикционный способ применяют на дорогах (участках) III - IV - V категорий, а также на дорогах, расположенных в регионах с продолжительными и устойчивыми низкими температурами (ниже  $-20$  -  $-25^{\circ}\text{C}$ ), или где использование отдельных химических ПГМ запрещено.

Физико-химический способ заключается в придании противогололедных свойств асфальтобетонному покрытию путем введения в асфальтобетонную смесь антигололедного наполнителя «Грикол», который на поверхности покрытия создает гидрофобный слой, снижающий адгезию снежно-ледяных отложений к покрытию или предотвращающий их образование.

Применяют этот способ на участках дорог, подверженных частому гололедообразованию (участках в горной местности, у водоемов, ТЭЦ, на мостах, путепроводах, эстакадах и др.)



Рис. 2. Обобщенная схема классификации противогололедных материалов

### Вывод

Рассмотрены наиболее эффективные способы борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах с использованием различных противогололедных материалов. Также рассмотрены стратегии по зимнему содержанию дорог. Представленный анализ позволяет более эффективно выбрать способы борьбы с зимней скользкостью в зависимости от различных природно- климатических и других факторов.

## Библиографический список

1. А.П. Васильев, Эксплуатация автомобильных дорог: в 2т. – Т.2 :учебник для студентов высших учебных заведений , 2010. – 320с.
2. Т.В. Самодурова, Оперативное управление зимним содержанием дорог: Научные основы: Монография / Т.В. Самодурова; Воронеж. Архитектурно-строительный университет– Воронеж: Издательство Воронеж. Государственного университета, 2003— 168 с. — ISBN 5-9273-0323-4
3. ГОСТ 33181-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания. Введен 01.12.2015. – М.: Стандартинформ, 2016. - 6 с.
4. Волков И.Н., Самодурова Т.В. Информационные двойники техники для зимнего содержания дорог и задачи, решаемые с их помощью. Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж, 2021.

## References

1. A.P. Vasiliev, Operation of highways: in 2 volumes. - Vol. 2: textbook for students of higher educational institutions, 2010. - 320 p.
2. T.V. Samodurova, Operational management of winter roads: Scientific basis: T.V. Samodurov; Voronezh. University of Architecture and Civil Engineering - Voronezh: Voronezh Publishing House. State University, 2003— 168 p. —ISBN 5-9273-0323-4
3. GOST 33181-2014. Public automobile roads. Requirements for ensuring winter maintenance. Introduced on 12/01/2015. – M.: Standartinform, 2016. – 6 p.
4. Volkov I.N., Samodurova T.V. Information twins of equipment for winter road maintenance and tasks solved with their help. Collection of works-winners of the competition of research works of students and graduate students of VSTU in priority areas of development of science and technology. Voronezh, 2021.

*Воронежский государственный  
технический университет  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
проектирования автомобильных дорог  
и мостов О.А. Волокитина  
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 349-72-56  
e-mail: [dixi.o@mail.ru](mailto:dixi.o@mail.ru)  
студент группы САС-161 И.Н. Волков  
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (908) 141-26-12  
e-mail: [ivan1900volkov@mail.ru](mailto:ivan1900volkov@mail.ru)  
студентка группы БАМТ- 181  
А.В. Волокитина  
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (904) 212-18-21  
e-mail: [nasya.v@mail.ru](mailto:nasya.v@mail.ru)  
студентка группы БАМТ- 191  
М.А. Габриелян  
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (915) 588-66-07  
e-mail: [gabrielyan-525@mail.ru](mailto:gabrielyan-525@mail.ru)  
студентка группы мТПАД - 211  
Ю.А. Макаренкова  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-71-53-62*

*Voronezh State  
Technical University  
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of  
Postgraduate at the Department of Road and  
Bridge O.A. Volokitina  
Russia, Voronezh, tel. (910) 349-72-56  
e-mail: [dixi.o@mail.ru](mailto:dixi.o@mail.ru)  
Student of group SAS-161 I.N. Volkov  
Russia, Voronezh, tel. +7 (908) 141-26-12  
e-mail: [ivan1900volkov@mail.ru](mailto:ivan1900volkov@mail.ru)  
Student of the group BAMT -181  
A.V. Volokitina  
Russia, Voronezh, tel. +7 (904) 212-18-21  
e-mail: [nasya.v@mail.ru](mailto:nasya.v@mail.ru)  
Student of the group BAMT -191  
M.A. Gabrielyan  
Russia, Voronezh, tel. +7 (915) 588-66-07  
e-mail: [gabrielyan-525@mail.ru](mailto:gabrielyan-525@mail.ru)  
Student of the group mTPAD - 211  
Yu.A. Makarenkova  
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-71-53-62*

О.А. Волокитина, И.Н. Волков, А.В. Волокитина, М.А. Габриелян, Ю.А. Макаренкова

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ И ПРИМЫКАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Произведен анализ существующих методик проектирования пересечений и примыканий автомобильных дорог. Установлен факт обобщенного выбора схем пересечений и примыканий в одном уровне, не позволяющего давать рекомендации по совершенствованию существующей организации дорожного движения в городах с уже сложившейся транспортно-планировочной структурой.

**Ключевые слова:** проектирование, автомобильная дорога, пересечения, примыкания, организация дорожного движения.

О.А. Volokitina, I.N. Volkov, A.V. Volokitina, M.A. Gabrielyan, Yu. A. Makarenkova

## **ANALYSIS OF EXISTING METHODS DESIGNING UNREGULATED INTERSECTIONS AND JUNCTIONS OF HIGHWAYS**

The analysis of existing methods of designing intersections and junctions of highways is carried out. The fact of a generalized choice of intersection and junction schemes at the same level has been established, which does not allow making recommendations on improving the existing organization of traffic in cities with an already established transport planning structure.

**Keywords:** design, highway, intersections, junctions, traffic management.

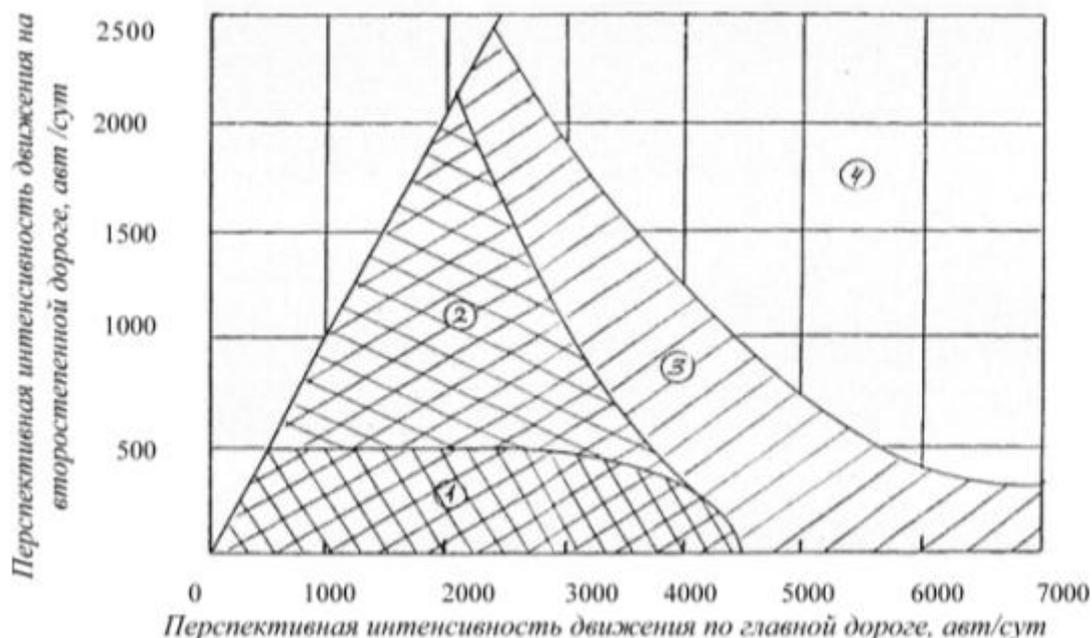
Пересечения и примыкания автомобильных дорог проектируют исходя из функционального назначения, класса и категорий пересекаемых дорог, с учетом перспективной интенсивности и состава движения по отдельным направлениям. При проектировании учитывают возможность стадийного развития пересечения или примыкания. Пересечения и примыкания могут устраиваться в одном и разных уровнях.

При проектировании пересечений и примыканий следует обеспечивать:

- расстояния и условия видимости, соответствующие расчетной скорости движения на участке дороги, где расположено пересечение;
- учет потребностей всех групп пользователей проектируемого пересечения: пешеходов, в том числе маломобильных групп населения, велосипедистов, автомобильного движения;
- необходимую для пропуска существующих и перспективных транспортных потоков пропускную способность пересечения или примыкания;
- возможность принятия водителем однозначных решений при следовании по пересечению (в том числе путем стандартизации проектных решений).

В настоящее время в России выбор схем пересечений и примыканий в одном уровне проводят на основе сопоставления ряда строительных, транспортно-эксплуатационных и экономических показателей с учетом категорий пересекающихся дорог, безопасности движения, пропускной способности, вида использования прилегающей территории [1, 2, 3].

При проектировании нерегулируемых перекрестков применяется метод сопоставления перспективной интенсивности движения по главной и второстепенной дороге, на основании которого тип пересечения в одном уровне может быть выбран по разработанному Е. М. Лобановым графику (рис. 1) [4].



**Рис. 1.** График для выбора пересечения по Е. М. Лобанову:

- 1 – простое пересечение; 2 – направляющие островки на второстепенной дороге;
- 3 – направляющие островки на обеих дорогах; 4 – развязки в разных уровнях

Перспективную (расчетную) интенсивность движения на узле определяют на основе графика интенсивности движения путем сложения количества автомобилей, подходящих к узлу с примыкающих дорог [1, 2]. Если имеющийся график интенсивности движения не соответствует расчетному году, то делают пересчет интенсивности движения за расчетный год с учетом величины и характера ежегодного изменения интенсивности движения.

При линейном росте интенсивности движения пересчет производят по формуле (1)

$$N_{уз(p)} = N_{уз(1)} \times [1 + p/100 \times (t - 1)], \quad (1)$$

где  $N_{уз(p)}$  – интенсивность движения на узле в расчетный год;

$N_{уз(1)}$  – интенсивность движения на узле в первый год;

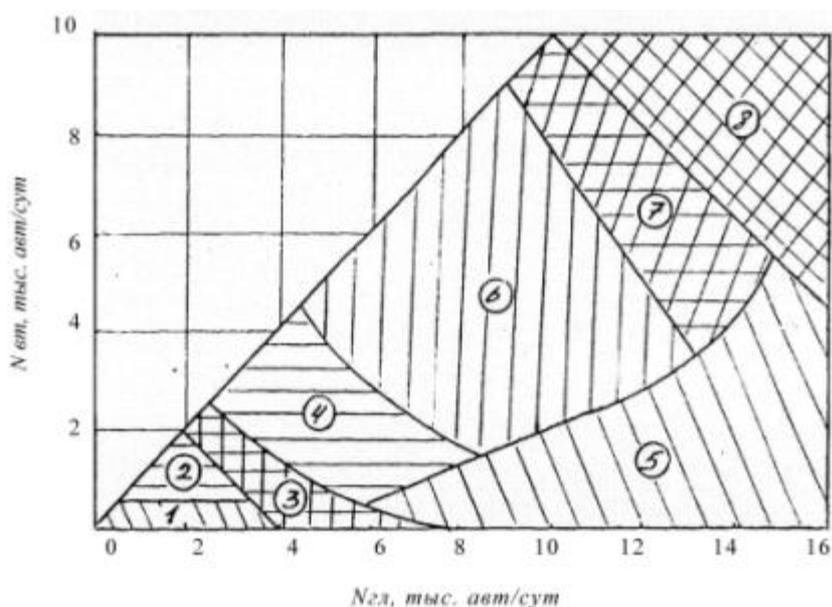
$p$  – ежегодный процент прироста интенсивности движения;

$t$  – продолжительность времени от исходного до расчетного года, лет.

При росте интенсивности по закону сложных процентов расчет перспективной интенсивности производят по формуле (2)

$$N_{уз(p)} = N_{уз(1)} \times (1 + p/100)^{t-1}, \quad (2)$$

В.Ф. Бабковым разработана расширенная номограмма для выбора типа пересечений, которая устанавливает рациональную область использования каждого типа пересечений (рис. 2) [5].



**Рис. 2.** Номограмма для выбора типа пересечений по В.Ф. Бабков:

1 – простые необорудованные пересечения; 2 – частично канализованные пересечения с островками на второстепенной дороге; 3 – канализованные пересечения с островками на обеих дорогах

и переходно-скоростных полосах на главной дороге; 4 – кольцевые пересечения с малыми

и средними центральными островками при пяти и более пересекающихся дорогах; 5 – кольцевые пересечения с эллиптическими островками, обеспечивающие приоритетные условия в разных уровнях, строящиеся стадийно

– вначале кольцевые пересечения, затем – пересечения в разных уровнях; 6 – кольцевые пересечения с малыми центральными островками, пересечения в разных уровнях; 7 – пересечения в разных уровнях, строящихся стадийно; 8 – пересечения в разных уровнях:  $N_{гл}$ ,  $N_{вт}$  – перспективные интенсивности движения

по главной и второстепенной дорогам

Анализируя номограммы, было отмечено существенное отличие в 4-ой области, в которой в первом случае предлагается использовать развязки в разных уровнях, а во втором – кольцевые пересечения. Незначительные расхождения наблюдаются также в 1-ой, 2-ой и 3-ей областях. Они обусловлены различными значениями перспективных интенсивностей движения по главной и второстепенной дорогам.

Дифференцирование планировочных решений в одном уровне в зависимости от интенсивности движения по главной и второстепенной дорогам и их категорий осуществляется при проектировании в соответствии с типовым проектом (серия 503-0-44), [6].

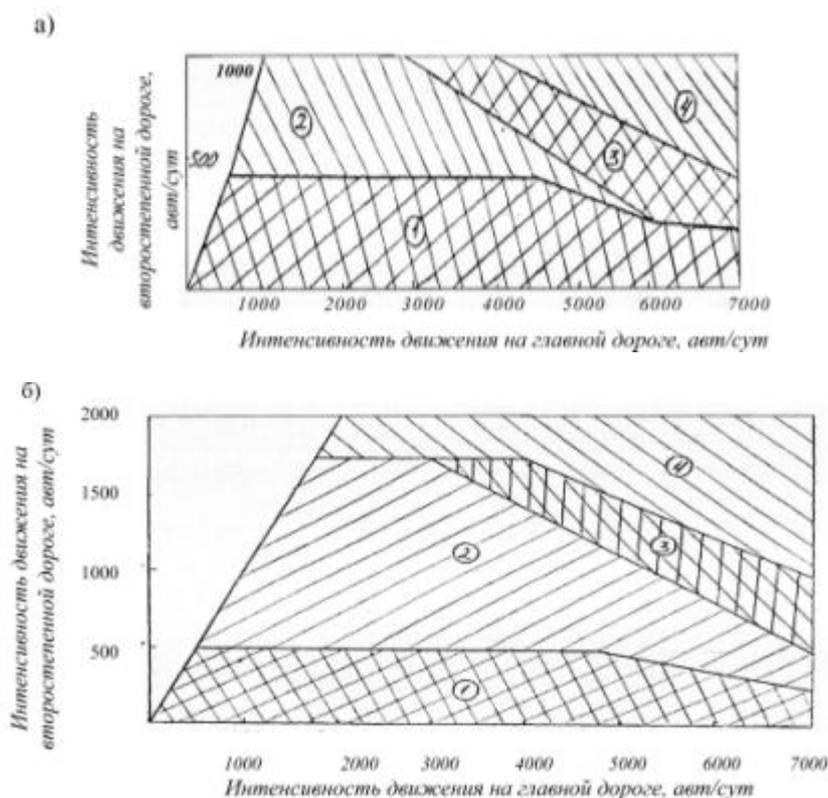
Согласно ОДМ 218.2.071-2016 [7] выбор типа кольцевого пересечения в зависимости от интенсивности движения осуществляется следующим образом (табл.).

## Выбор типа кольцевого пересечения в зависимости от интенсивности движения

Тип кольцевого пересечения	Условия проектирования и эксплуатации	Диаметр кольцевого пересечения, м	Количество полос движения кольцевой проезжей части	Суммарная интенсивность движения на пересекающихся дорогах, прив.авт./сут
Кольцевые пересечения с малым диаметром	стесненные	24 - 30	1 (2)	20000 - 25000
Кольцевые пересечения со средним диаметром	стесненные	30 - 40	1	20000 - 35000
	свободные	35 - 50	2	35000 - 40000
Кольцевые пересечения большого диаметра	стесненные	40 - 55	2	25000 - 55000
	свободные	50 - 60	3	55000 - 70000
Мини - кольцевые пересечения	стесненные	12 - 24	1	до 15000 - 20000
Кольцевые пересечения на неполных транспортных развязках	-	12 - 60	1 - 2	20000 - 50000

У зарубежных исследователей также имеются разработки в области определения пределов эффективного функционирования нерегулируемых перекрестков [8].

В зависимости от интенсивностей движения на основной и второстепенной дорогах принимаются различные типы пересечений автомобильных дорог в одном уровне (рис. 3).



**Рис. 3.** Пределы применения различных типов пересечений в одном уровне (по данным зарубежных исследователей): 1 – канализация движения не требуется; 2 – необходимо выделение островками безопасности проезжих частей на второстепенной дороге; 3 – необходимо выделение островками безопасности проезжих частей на второстепенной дороге и левоповоротных полос на главной дороге; 4 – необходимо светофорное регулирование или устройство пересечения в разных уровнях

На рис. 3 (а) показаны пределы применения различных типов пересечений при неблагоприятных условиях (плохая видимость, более 20% грузовых автомобилей, значительные продольные уклоны), а на рис. 3 (б) – пределы применения пересечений в благоприятных условиях (хорошая видимость, однородный состав движения, ровный участок пересечения).

Рассмотренные выше методы представляют собой общие принципы проектирования пересечений и примыканий автомобильных дорог, но не подходят для целей совершенствования организации дорожного движения в населенных пунктах с уже сложившейся транспортно-планировочной структурой [9].

### Вывод

Для совершенствования организации дорожного движения в городских условиях со сложившейся транспортно-планировочной структурой необходимо: 1) на основе анализа существующей методики проектирования пересечений и примыканий автомобильных дорог произвести экспериментальные исследования пределов эффективного функционирования простых нерегулируемых перекрестков с определением границ их рационального использования; 2) разработать модель определения пределов эффективного функционирования простых нерегулируемых перекрестков на основе математического расчета основных показателей, характеризующих работу перекрестка в аспекте оптимальности пропуска транспортно-пешеходных потоков.

### Библиографический список

1. СП 34.13330.2021. Свод правил. Автомобильные дороги. – М.: АО "Кодекс". 2021. – 94с.
2. ГОСТ Р 58653-2019. Пересечения и примыкания. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2019. - 59 с.
3. ОДМ 218.4.005-2010. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. – М.: Информавтодор. 2011. – 264 с.
4. Лобанов Е. М., Сильянов В. В., Ситников Ю. М., Сапегин Л. Н. Пропускная способность автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1970. -152 с.
5. Бабков В. Ф., Андреев О. В. Проектирование автомобильных дорог. Ч. I: Учебник для вузов по специальностям «Автомобильные дороги» и «Мосты и тоннели». — М.: Транспорт, 1979, 367 с.
6. Типовые проектные решения. Серия 503-0-44. Пересечения и примыкания автомобильных дорог в одном уровне.
7. ОДМ 218.2.071-2016 «Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог». – М.: Информавтодор. 2016. – 167 с.
8. Озол А. О. Организация учета дорожного движения на основе исследований закономерностей транспортных потоков: Автореферат диссертации канд. техн. наук. - К., 1984. - 18 с.
9. Еремин А.В., Волокитина О.А. Теоретическое обоснование определения пределов эффективного функционирования с учетом пропуска пешеходных потоков при проектировании нерегулируемых перекрестков автомобильных дорог / Еремин А.В., Волокитина О.А. // Научный журнал Строительная механика и конструкции. Воронежский государственный технический университет. Воронеж. - 2021. - № 4 (31). - С. 70-77. - ISSN 2219-1038.

## References

1. SP 34.13330.2021. A set of rules. Highways. – M.: JSC "Codex". 2021. – 94c.
2. GOST R 58653-2019. Intersections and junctions. Technical specifications. - M.: Standartinform, 2019. - 59 p.
3. ODM 218.4.005-2010. Recommendations for ensuring traffic safety on highways. – M.: Informavtodor. 2011. – 264 p.
4. Lobanov E. M., Silyanov V. V., Sitnikov Yu. M., Sapegin L. N. Capacity of highways. - M.: Transport, 1970. -152 p.
5. Babkov V. F., Andreev O. V. Designing highways. Part I: Textbook for universities in the specialties "Highways" and "Bridges and tunnels". — M.: Transport, 1979, 367 p.
6. Standard design solutions. Series 503-0-44. Intersections and junctions of highways on the same level.
7. ODM 218.2.071-2016 "Methodological recommendations for the design of ring intersections in the construction and reconstruction of highways." – M.: Informavtodor. 2016. – 167 p.
8. Ozol A. O. Organization of traffic accounting based on studies of traffic flow patterns: Abstract of the thesis of Candidate of Technical Sciences. - K., 1984. - 18 p.
9. Eremin A.V., Volokitina O.A. Theoretical justification for determining the limits of effective functioning taking into account the passage of pedestrian flows in the design of unregulated intersections of highways / Eremin A.V., Volokitina O.A. // Scientific journal of Construction Mechanics and constructions. Voronezh State Technical University. Voronezh. - 2021. - № 4 (31). - Pp. 70-77. - ISSN 2219-1038.

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

УДК 621.8

*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](mailto:zhilinra@yandex.ru)  
Студенты дорожно-транспортного  
факультета  
В.Г. Августинович, С.Е. Новиков  
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](mailto:zhilinra@yandex.ru)  
Students of the Road and Transport  
Faculty  
V.G. Augustinovich, S.E. Novikov  
Russia, Voronezh*

Р.А. Жилин, В.Г. Августинович, С.Е. Новиков

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗУБЧАТО-РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА**

В статье рассмотрены структура и принцип работы рычажно-зубчатых механизмов. Представленная модель зубчато-рычажного механизма с изменяющейся траекторией выходного звена.

**Ключевые слова:** зубчатого-рычажный механизм, моделирование.

R.A. Zhilin, V. G. Augustinovich, S.E. Novikov

## **MODELING OF A GEAR-LEVER MECHANISM**

The article discusses the structure and principle of operation of lever-gear mechanisms. The presented model of a gear-lever mechanism with a variable trajectory of the output link.

**Keywords:** gear-lever mechanism, modeling.

В промышленности нашли широкое распространение рычажные механизмы в сочетании с зубчатыми механизмами или как их принято называть – зубчато-рычажные механизмы. Этот вид механизмов представляют собой устройства, содержащие взаимодействующие между собой зубчатые и рычажные механизмы, причем их соединения могут быть последовательными или параллельными.

В различных станках, машинах и автоматических системах управления в машиностроительных производствах применяют в основном параллельно соединенные зубчато-рычажные механизмы. Зубчато-рычажные механизмы в ряде вариантов содержат обычно две пары взаимодействующих зубчатых колес, из которых одно связано со звеном рычажного

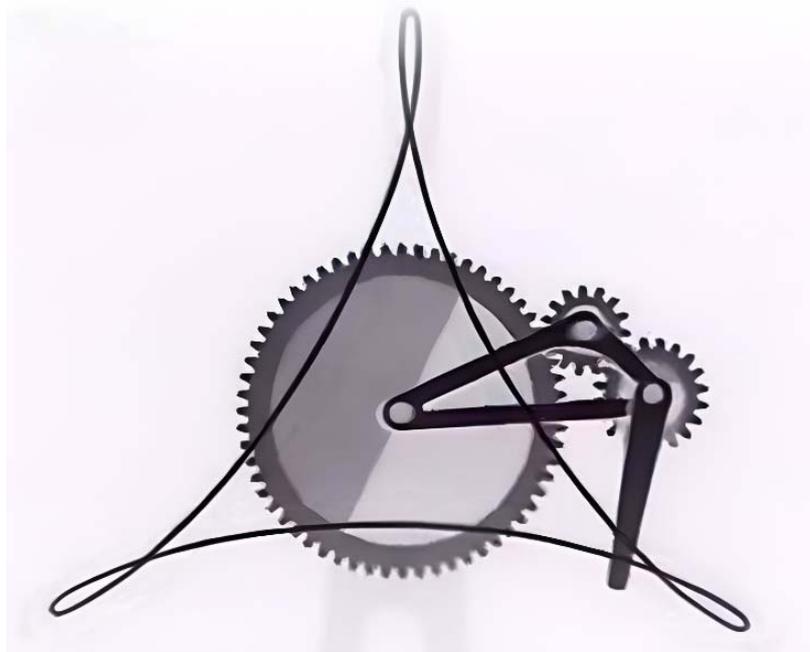
механизма. В целом зубчато-рычажные механизмы позволяют получать различные законы движения звеньев, улучшать силовые характеристики всего механизма.

В станочных автоматических линиях зубчато-рычажные механизмы используют в качестве направляющих и передаточных механизмов. Рычажно-зубчатые механизмы с возможностью переналадки на заданный ход выходного звена нашли применение для механизации вспомогательных операций, связанных с перемещением изделий. Нередко при компоновке оборудования технологической линии в новых рабочих зонах, а также при использовании механизмов в линиях с иным технологическим процессом возникает необходимость переналадки механизма на заданный ход выходного звена. Комбинация рычажных механизмов с зубчатыми передачами позволяет создать механизмы с новыми нехарактерными для обоих свойствами. Чаще всего такие механизмы используются для получения выстоя выходного звена, но в ряде случаев они могут позволять получать различные траектории движения выходного звена, а также изменять величину и скорость его перемещения.

Представленная модель зубчато-рычажного механизма (рис. 1) может быть использована в машиностроении, в частности в технологических машинах-автоматах, где требуется изменяющаяся траектория выходного звена – трахойды. Механизм включает неподвижное солнечное колесо (1), зубчатым колесо-сателлит (2), зубчатое колесо (3) с жестко закреплённым на нем рычагом. Выходным звеном данного механизма является рычаг, который описывает трахойду с тремя выстоями.



Рис. 1. Модель зубчато-рычажного механизма



**Рис. 2.** Траектория описываемая выходным звеном механизма

При создании данного механизма возникли сложности в поиске, подборе и изготовлении в лабораторных условиях зубчатых колёс. Непростым оказалось проектирование подшипниковых узлов под внутренний и внешний диаметр шестерни, и последующее их конструирование. Так же процесс усложняло отсутствие опыта и рабочего места с качественным оборудованием.

#### Библиографический список

1. Киницкий Я.Т. Техническая механика. Книга 3. Основы теории механизмов и машин [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Киницкий Я.Т.— Электрон. текстовые данные.— М.: Машиностроение, 2012.— 104 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18545>.— ЭБС «IPRbooks»
2. Теория механизмов и машин: / К.В. Фролова , С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.; Под ред. Г.А. Тимофеева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
3. Журнал «Теория механизмов и машин» научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU Код 2079-021.

#### References

1. Kinitsky Ya.T. Technical mechanics. Book 3. Fundamentals of the theory of mechanisms and machines [Electronic resource]: textbook/ Kinitsky Ya.T.— Electron. text data.— Moscow: Mashinostroenie, 2012.— 104 p.— Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/18545> .— EBS "IPRbooks"
2. Theory of mechanisms and machines: / K.V. Frolova, S.A. Popov, A.K. Musatov, etc.; Edited by G.A. Timofeev. M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2009.
3. Journal "Theory of Mechanisms and Machines" of the scientific electronic library eLibrary. RU Code 2079-021.

*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](mailto:zhilinra@yandex.ru)  
Студенты 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](mailto:zhilinra@yandex.ru)  
Students of the Road and Transport  
Faculty  
G.M.Kartavcev, V.S.Hodcev  
Russia, Voronezh*

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

### ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

В статье рассмотрены особенности двигателей Стирлинга, описывается цикл Стирлинга. Кратко изложена история создания и развития. Представлена действующая модель двигателя Стирлинга.

**Ключевые слова:** цикл Стирлинга, двигатель Стирлинга, двигатель внешнего сгорания, цикл Карно.

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

### FEATURES OF THE STIRLING ENGINE SIMULATION

The article discusses the features of Stirling engines. The history of creation and development is briefly described. The Stirling cycle is described. In the work, the issues of designing the optimal design of the body of the end mill are considered.

**Keywords:** Stirling cycle, Stirling engine, external combustion engine, Carnot cycle.

Взятое в XXI веке направления на развитие перспективных энергосберегающих технологий ориентированных на использование возобновляемые виды топлива. За свою историю научно-технический прогресс оставил в своих архивах множество изобретений, не получивших широкое распространение в своё время. 27 сентября 1816 года шотландским священником Робертом Стирлингом был запатентован так называемый «двигатель горячего воздуха», представлявший собой безопасную альтернативу паровому двигателю.

Двигатель Стирлинга (ДС) является разновидностью двигателя внешнего сгорания и представляет собой тепловую машину, в которой рабочее тело в виде газа или жидкости движется в замкнутом объёме, периодически нагреваясь и охлаждаясь с извлечением энергии. При этом ДС может работать не только от сгорающего топлива, но и использовать любой источник тепла.

Уменьшение и увеличение объёма газа при охлаждении либо нагреве соответственно, подтверждается законом термодинамики, согласно которого все составляющие: степень нагрева, величина занимаемого пространства веществом, сила, действующая на единицу площади, связаны и описываются формулой

$$P \times V = n \times R \times T,$$

где  $P$  – сила действия газа в двигателе на единицу площади;  
 $V$  – количественная величина, занимаемая газом в пространстве двигателя;  
 $n$  – молярное количество газа в двигателе;  
 $R$  – постоянная газа;  
 $T$  – степень нагрева газа в двигателе в кельвинах.

Это означает, что при нагревании газа его объём увеличивается, а при охлаждении — уменьшается. При нагревании газ совершает работу (например, толкает поршень) и охлаждается. Сжать охлажденный газ проще, чем удержать расширяющийся горячий (на сжатие холодного газа "расходуется" меньше работы, чем высвобождается работы при нагревании и расширении того же самого газа). Это свойство газов и лежит в основе работы двигателя Стирлинга.

Двигатель Стирлинга использует цикл Стирлинга, который по термодинамической эффективности не уступает циклу Карно, и даже обладает преимуществом. Дело в том, что цикл Карно состоит из мало отличающихся между собой изотерм и адиабат. Практическое воплощение этого цикла малоперспективно. Цикл Стирлинга позволил получить работающий на практике двигатель в приемлемых размерах.

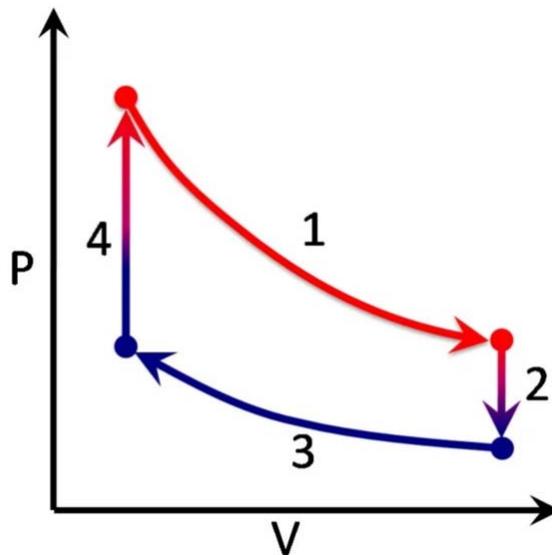


Рис. 1. Диаграмма «давление-объём» идеализированного цикла Стирлинга

Цикл Стирлинга состоит из четырёх фаз и разделён двумя переходными фазами: нагрев, расширение, переход к источнику холода, охлаждение, сжатие и переход к источнику тепла. Таким образом, при переходе от тёплого источника к холодному источнику происходит расширение и сжатие газа, находящегося в цилиндре. При этом изменяется давление, за счёт чего можно получить полезную работу.

Нагрев и охлаждение рабочего тела (фазы 4 и 2) производится вытеснителем. В идеале количество тепла, отдаваемое и отбираемое вытеснителем, одинаково. Полезная работа производится только за счёт изотерм, то есть зависит от разницы температур нагревателя и охладителя, как в цикле Карно.

Достоинства ДС: для работы двигателя необходим температурный перепад, какое топливо вызывает нагрев не важно; нет необходимости использовать навесное и вспомогательное оборудование, конструкция двигателя простая и надёжная; ресурс двигателя, благодаря особенностям конструкции, составляет 100000 часов работы; работа двигателя не создаёт по-

стороннего шума, поскольку отсутствует детонация; процесс работы двигателя не сопровождается выбросом отработанных веществ; работа двигателя сопровождается минимальной вибрацией; процессы в цилиндрах установки экологически безвредны. Использование правильного источника тепла позволяет сделать двигатель «чистым».

К недостаткам двигателя Стирлинга относятся: трудно наладить серийное производство, поскольку конструктивно двигатель требует использования большого количества материалов; высокий вес и большие габариты двигателя, поскольку для эффективного охлаждения надо применять большой радиатор; для повышения эффективности двигатель форсируют, применяя в качестве рабочего тела сложные вещества (водород, гелий), что делает эксплуатацию агрегата опасным; значительные потери тепла в теплообменнике снижают эффективность агрегата, а применение специфических материалов делают изготовление двигателя дорогим; для регулировки и перехода двигателя с режима на режим надо применять специальные устройства управления.



Рис. 2. Лабораторная модель двигателя Стирлинга

Представляемая лабораторная модель двигателя Стирлинга (рис. 2) выполнена из общедоступных материалов и предназначена для ознакомления с принципами работы аналогичных двигателей. Представленная конструкция отличается простотой исполнения и не требует значительного начального опыта для её реализации.

Двигатели Стирлинга в современной промышленности применяют в тех случаях, когда необходим небольшой простой по устройству преобразователь тепловой энергии или когда другие тепловые двигатели менее эффективны. Например, использование ДС в когенераци-

онных установках позволяет одновременно обеспечивать электроэнергией и теплом небольшие районы. Тепловые насосы на базе ДС работают подобно кондиционерам в режиме отопления. ДС могут работать, как холодильные установки, при этом они более экономичны, а в качестве рабочего тела может использоваться обычный воздух. Малошумность ДС еще в 60-е годы прошлого века привлекла внимание разработчиков подводных лодок в ряде стран. В 1988 году шведская субмарина класса «Никкен» была оснащена воздухомезависимыми ДС, с которыми она проплавала свыше 10000 часов. В Японии подводные лодки класса «Сорю» были оснащены четырьмя ДС VA-275R, каждая мощностью по 8000 л. с.

#### Библиографический список

1. Александр Агеев. Двигатель Стирлинга: устройство и принцип работы – <https://www.techcult.ru/technics/10458-dvigatel-stirlinga>
2. Двигатель Стирлинга: принципы работы – <https://motoran.ru/dvigatel/dvigatel-stirlinga>
3. Двигатель Стирлинга: концепция, конструкция, принцип работы – <https://altenergiya.ru/poleznye-stati/dvigatel-stirlinga-koncepciya-konstrukciya-princip-raboty.html>
4. Как сделать простой двигатель Стирлинга обогреватель – <https://www.youtube.com/watch?v=My-vD-cIP3Y&t=1207s>

#### References

1. Alexander Ageev. Stirling engine: device and principle of operation – <https://www.techcult.ru/technics/10458-dvigatel-stirlinga>
2. Stirling engine: principles of operation – <https://motoran.ru/dvigatel/dvigatel-stirlinga>.
3. Stirling engine: concept, design, working principle – <https://altenergiya.ru/poleznye-stati/dvigatel-stirlinga-koncepciya-konstrukciya-princip-raboty.html>.
4. How to make a simple Stirling engine heater – <https://www.youtube.com/watch?v=My-vD-cIP3Y&t=1207s>.

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строи-  
тельной техники и инженерной механики*

*В.А. Жулай;*

*Канд. техн. наук, доцент кафедры строи-  
тельной техники и инженерной механики*

*имени профессора Н.А. Ульянова*

*Ю.Н. Спасибухов;*

*Канд. техн. наук, доцент кафедры строи-  
тельной техники и инженерной механики*

*имени профессора Н.А. Ульянова*

*В.Л. Тюнин;*

*Канд. техн. наук, доцент кафедры строи-  
тельной техники и инженерной механики*

*имени профессора Н.А. Ульянова*

*А.Н. Щиенко;*

*Магистрант кафедры строительной техники  
и инженерной механики гр. мСДМ-201*

*С.Н. Розанов.*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29*

*e-mail: [a.n.shienko@mail.ru](mailto:a.n.shienko@mail.ru)*

*Voronezh State*

*Technical University*

*Dr.Sci.Tech., prof., head of the chair of construc-  
tion machinery and engineering mechanics*

*V.A. Zhulay;*

*Cand. of Tech. Science, Associate prof. of the  
chair of construction machinery and engineering*

*mechanics of a name of professor N.A. Ulyanov*

*Yu.N. Spasibukhov;*

*Cand. of Tech. Science, Associate prof. of the  
chair of construction machinery and engineering*

*mechanics of a name of professor N.A. Ulyanov*

*V.L. Tyunin;*

*Cand. of Tech. Science, Associate prof. of the  
chair of construction machinery and engineering*

*mechanics of a name of professor N.A. Ulyanov*

*A.N. Shchiyenko;*

*Master student of the department of construction  
equipment and engineering mechanics*

*gr. mSDM-191 S.N. Rozanov.*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 2-77-01-29*

*e-mail: [a.n.shienko@mail.ru](mailto:a.n.shienko@mail.ru)*

В.А. Жулай, Ю.Н. Спасибухов, В.Л. Тюнин, А.Н. Щиенко, С.Н. Розанов

## **ВИБРАЦИОННОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КАРДАНЫХ ПЕРЕДАЧ ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

В данной публикации представлены обоснование выбора диагностических параметров при вибрационном диагностировании карданных передач землеройно-транспортных машин на примере автогрейдера, уравнение, описывающее изменение виброскорости опоры вала карданной передачи. Приведены типовая реализация и спектр вертикальной виброскорости опоры вала карданной передачи привода переднего моста автогрейдера.

**Ключевые слова:** землеройно-транспортные машины, эксплуатационные дефекты, шлицевое соединение, карданная передача, вибрация, вибрационное диагностирование, спектральный анализ.

V.A. Zhulay, Yu.N. Spasibukhov, V.L. Tyunin, A.N. Shchiyenko, S.N. Rozanov

## **VIBRATION DIAGNOSIS OF CARDAN GEARS EARTH DRIVING MACHINES**

This publication presents the rationale for the choice of diagnostic parameters for vibration diagnostics of cardan gears of earth-moving machines using the example of a motor grader, an equation that describes the change in the vibration velocity of the cardan shaft support. A typical implementation and the spectrum of vertical vibration velocity of the support of the cardan shaft of the drive of the front axle of a motor grader are given.

**Keywords:** earth-moving machines, operational defects, spline connection, cardan transmission, vibration, vibration diagnostics, spectral analysis.

Карданные передачи нашли широкое применение в трансмиссиях землеройно-транспортных машин (ЗТМ). Вызвано это, прежде всего возможностью соединять элементы трансмиссий и другие агрегаты, которые в процессе работы могут менять свое взаимное положение [1, 2].

Главной причиной выходы из строя карданных передач ЗТМ, которые работают в неблагоприятных условиях воздействия окружающей среды с повышенной запыленностью, является абразивный износ шлицевого соединения, что в свою очередь вызывает увеличение вибрации не только элементов трансмиссии, но и всей машины, вследствие разбалансировки валов карданной передачи. Вибрация, вызываемая дефектными карданными передачами, относится к числу вредных факторов, отрицательно влияющая на оператора, управляющего машиной, а также несет в себе информацию о дефектах возбуждающих этот процесс [3, 4, 5, 6, 7].

Взаимосвязь параметров колебаний конструкций машины с параметрами возмущающих сил, вызванных эксплуатационными дефектами карданных передач, позволяют проводить прогнозирование характеристик вибрационных процессов и диагностирование технического состояния элементов трансмиссий ЗТМ на основе применения более совершенных вибрационных методов.

Как известно, результаты определения параметров любого физического процесса можно отнести к детерминированному и недетерминированному типу. Отнесение тех или иных физических процессов к детерминированному или случайному типу достаточно условны. Например, можно утверждать, что почти все реальные физические процессы не могут быть в полной мере детерминированными, т.к. даже при знании основных механизмов явления и описании их точными математическими формулами, нельзя исключить возможности того, что в будущем произойдет событие, которое повлияет на процесс совершенно непредсказуемым образом.

Практически решение вопроса о случайности или детерминированности конкретного физического процесса основывается на способности неоднократно воспроизвести процесс в ходе эксперимента. Если многократное повторение эксперимента приводит к одним и тем же результатам, в пределах точности эксперимента, то этот процесс можно считать детерминированным.

Существует несколько способов классификации детерминированных процессов [8, 9]. Эти принципы классификации выбирались с точки зрения удобства проведения анализа и не всегда являются наилучшими с других возможных точек зрения. Предполагается, что исследуемые физические процессы представляют собой функции времени.

Детерминированные процессы делятся на периодические и непериодические. В свою очередь периодические процессы разделяют на гармонические и полигармонические. Непериодические процессы делятся на «почти периодические» и переходные. Разумеется, может встречаться и любое сочетание этих процессов.

К полигармоническим относятся периодические процессы, которые математические представляются функцией времени, точно повторяющей свои значения через одинаковые интервалы времени, т. е.

$$x(t) = x(t \pm nT_p), \quad (1)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Интервал времени, в течение которого происходит одно полное колебание, называется периодом  $T_p$ . Число циклов в единицу времени называется фундаментальной частотой  $f_1$ . Гармонические процессы представляют собой частный случай полигармонических при  $f_1 = f_0$ .

Для анализа и исследования полигармонические процессы разлагаются в ряд Фурье по формуле [4, 5, 8, 9]

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos 2\pi n f_1 t + b_n \sin 2\pi n f_1 t), \quad (2)$$

где  $f_1 = 1/T_p$  и

$$a_n = \frac{2}{T_p} \int_0^{T_p} x(t) \cos 2\pi n f_1 t dt, \quad n = 0, 1, 2, \dots;$$

$$b_n = \frac{2}{T_p} \int_0^{T_p} x(t) \sin 2\pi n f_1 t dt, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Таким образом, полигармонический процесс представляет собой сумму постоянной составляющей  $a_0/2$  и бесконечного числа гармонических составляющих, называемых гармониками. Все частоты гармоник должны быть кратны фундаментальной частоте  $f_1$ . В нашем случае (ф-лы (3) и (4)) это практически не осуществимо [4, 5]

$$\begin{aligned} \dot{z}_1 = & \left[ -\frac{f\omega}{\omega^4 - a\omega^2 + b} \frac{k_2^2 - \omega^2}{k_2^2 - k_1^2} + \frac{k_1^2}{k_2^2 - k_1^2} \nu \right] \cos k_1 t + \\ & + \left[ \frac{f\omega}{\omega^4 - a\omega^2 + b} \frac{k_1^2 - \omega^2}{k_2^2 - k_1^2} - \frac{k_1^2}{k_2^2 - k_1^2} \nu \right] \cos k_2 t + \frac{f\omega}{\omega^4 - a\omega^2 + b} \cos \omega t; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \dot{z}_2 = & \left[ -\frac{\tilde{f}\omega}{\omega^4 - a\omega^2 + b} \frac{k_2^2 - \omega^2}{k_2^2 - k_1^2} + \frac{k_2^2}{k_2^2 - k_1^2} \tilde{\nu} \right] \cos k_1 t + \\ & + \left[ \frac{\tilde{f}\omega}{\omega^4 - a\omega^2 + b} \frac{k_1^2 - \omega^2}{k_2^2 - k_1^2} - \frac{k_1^2}{k_2^2 - k_1^2} \tilde{\nu} \right] \cos k_2 t + \frac{\tilde{f}\omega}{\omega^4 - a\omega^2 + b} \cos \omega t. \end{aligned} \quad (4)$$

Однако на практике почти все реальные физические процессы представляют собой сумму двух и более гармонических процессов с произвольными частотами, т. е. эти процессы не будут периодическими. Строго говоря, сумма двух и более гармонических процессов будет периодическим процессом тогда и только тогда, когда отношение любых двух частот есть рациональное число [8, 9]. В этом случае существует фундаментальный период, который удовлетворяет уравнению (1). А если отношение частот не является рациональным числом, то фундаментальный период бесконечно велик. Реализация такого процесса носит почти периодический характер, но соотношение (1) не выполняется ни при каком значении  $T_p$ .

На основании этих соображений почти периодические процессы определяются математически как функция времени вида [8, 10]

$$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n \sin(2\pi f_n t + \theta_n), \quad (5)$$

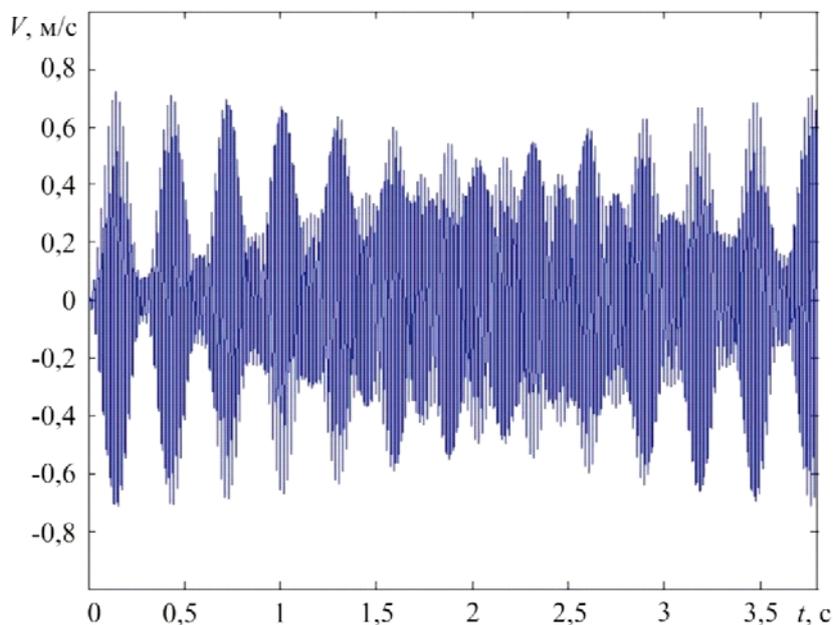
причем  $f_n / f_m$  не для всех значений индексов являются рациональными числами.

Как видно из уравнения (см. ф-лу (3) и (4)) в нашем случае мы имеем дело с почти периодическим процессом, образованным суммой трех гармонических процессов.

Такие сложные почти периодические процессы наиболее эффективно исследуются с помощью методов обработки случайных сигналов, в частности спектрального анализа [11, 12].

Рассмотрим результаты определения вертикальных виброскоростей опоры вала дефектной карданной передачи, полученные с помощью разработанной математической модели.

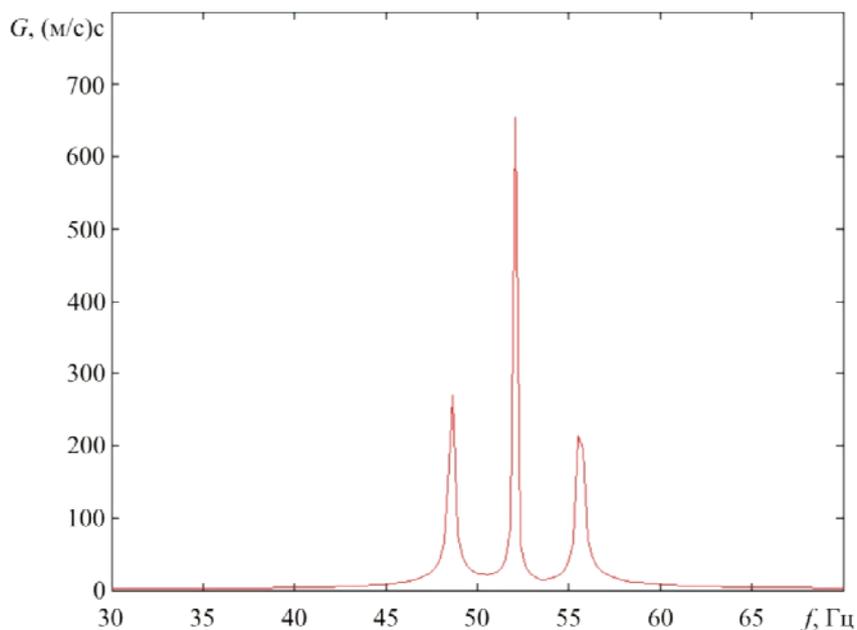
На рисунке 1 приведена типовая реализация вертикальной виброскорости опоры вала карданной передачи привода переднего моста автогрейдера ДЗ-98В3-2.



**Рис. 1.** Типовая реализация вертикальной составляющей виброскорости опоры вала карданной передачи ( $\omega = 327,2$  рад/с;  $M_1 = M_2 = 51$  кг)

На рисунке 1 видны периодические изменения амплитуды процесса, так называемые биения, возникающие при суммировании гармонических процессов с близкими частотами.

Спектр типовой реализации вертикальной виброскорости опоры вала карданной передачи приведен на рисунке 2.



**Рис. 2.** Спектр вертикальной составляющей виброскорости опоры вала карданной передачи ( $\omega = 327,2$  рад/с;  $M_1 = M_2 = 51$  кг)

Анализ параметров уравнения (3), описывающего изменение виброскорости опоры вала карданной передачи, показывает, что центральная составляющая спектра определяется частотой вращения вала, а боковые жесткостными и инерционными характеристиками опор.

Поэтому в качестве диагностического признака целесообразно принять величину спектральной составляющей частоты вращения вала  $\omega$ , спектра вертикальной составляющей виброскорости опоры вала карданной передачи.

### Выводы

1. Вибрации опор дефектной карданной передачи в общем случае являются почти периодическим процессом, образованным суммой трех гармонических процессов. Такие сложные процессы наиболее эффективно исследовать с помощью методов обработки случайных сигналов, в частности спектрального анализа.

2. В качестве диагностического признака целесообразно принять величину спектральной составляющей основной (оборотной) частоты вращения вала  $\omega$ , спектра вертикальной составляющей виброскорости опоры карданного вала.

### Библиографический список

1. Волков Д. П. Трансмиссии строительных и дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1974. – 424 с.
2. Российская энциклопедия самоходной техники в 2 т. Т. 2: Справочное и учебное пособие. – М.: Просвещение, 2001. – 358 с.
3. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем / В.А. Зорин. М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. 536 с.
4. Жулай В. А. Динамика дефектных карданных передач строительных и дорожных машин / В.А. Жулай, В.А. Козлов, А.Н. Щиенко // Изв. вузов. Строительство. – 2008. – № 1. – С. 72-78.
5. Щиенко А. Н. Метод оценки технического состояния карданных передач автогрейдеров : дис. канд. техн. наук. – Воронеж: ВГАСУ, 2008. – 153 с.
6. Жулай В. А. Научные основы виброакустической диагностики эксплуатационных дефектов зубчатых передач строительных машин: дис. д-ра техн. наук. – Воронеж: ВГАСУ, 2005. – 389 с.
7. Жулай В.А. Возможность вибрационной диагностики эксплуатационных дефектов карданных передач СДМ / В.А. Жулай, В.И. Енин, А.Н. Щиенко // Строительные и дорожные машины. – 2009. – №2. – С. 46-47.
8. Бендат, Дж. Прикладной анализ случайных данных [Текст] / Дж. Бендат, А. Пирсол; пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
9. Измерение параметров вибрации и удара [Текст] : учебное пособие для ВИСМ / В.С. Шкаликов, В.С. Пелинец, Е.Г. Исакович, Н.Я Цыган. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 280 с.
10. Иориш, Ю. И. Виброметрия. Измерение вибрации и ударов. Общая теория, методы и приборы [Текст] / Ю.И. Иориш. – М. : Машиз, 1963. – 771 с.
11. Жулай В.А. Спектральный анализ виброакустического сигнала зубчатой передачи / В.А. Жулай, В.И. Енин // Вестник машиностроения. – 2007. – №1. – С. 31-33.
12. Жулай В.А. Обоснование режимов виброакустического диагностирования зубчатых передач строительных и дорожных машин / В.А. Жулай, В.П. Авдеев // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2010. – №4. – С. 171-176.

## References

1. Volkov D. P. Transmissions of construction and road machines. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 424 p.
2. Russian encyclopedia of self-propelled equipment in 2 volumes. Vol. 2: Reference and tutorial. – M.: Enlightenment, 2001. – 358 p.
3. Zorin V.A. Osnovy operability of technical systems / V.A. Zorin. M.: Magistr-Press LLC, 2005. 536 p.
4. Zhulay V.A. Dynamics of defective cardan transmissions of construction and road machines / V.A. Zhulai, V.A. Kozlov, A.N. Shchienko // Izv. universities. Construction. - 2008. - No. 1. - P. 72-78.
5. Shchienko A. N. Method for assessing the technical condition of cardan gears of auto-graders: dis. cand. tech. Sciences. - Voronezh: VGASU, 2008. - 153 p.
6. Zhulay V. A. Scientific bases of vibroacoustic diagnostics of operational defects of gears of construction machines: dis. Dr. tech. Sciences. - Voronezh: VGASU, 2005. - 389 p.
7. Zhulay V.A. Possibility of vibration diagnostics of operational defects of cardan gears SDM / V.A. Zhulay, V.I. Enin, A.N. Shchienko // Construction and road machines. - 2009. - No. 2. - P. 46-47.
8. Bendat, J. Applied analysis of random data [Text] / J. Bendat, A. Piersol; per. from English. – M.: Mir, 1989. – 540 p.
9. Measurement of vibration and shock parameters [Text]: textbook for VISM / V.S. Shkalikov, V.S. Pelinets, E.G. Isakovich, N. Ya Gypsy. - M.: Publishing house of standards, 1980. - 280 p.
10. Iorish, Yu. I. Vibrometry. Vibration and shock measurement. General theory, methods and devices [Text] / Yu.I. Iorish. - M. : Mashiz, 1963. - 771 p.
11. Zhulay V.A. Spectral analysis of the vibroacoustic signal of a gear transmission / V.A. Zhulay, V.I. Enin // Vestnik mashinostroeniya. - 2007. - No. 1. - P. 31-33.
12. Zhulay V.A. Substantiation of modes of vibroacoustic diagnosing of gears of construction and road machines / V.A. Zhulay, V.P. Avdeev // Scientific journal of construction and architecture. - 2010. - No. 4. - P. 171-176.

УДК 625.08

*Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет  
(МАДИ)*

*Докт. техн. наук, зав. кафедрой ПРАДМ*

*В.А. Зорин*

*Аспирант Ростамиан Мохаммад*

*Россия, г. Москва, тел. +7(916) 6382144*

*e-mail: [madi-dm@list.ru](mailto:madi-dm@list.ru)*

*Moscow State Automobile  
and Road State*

*Technical University (MADI)*

*D.Sc.( Engineering), Chairman*

*V.A. Zorin*

*Post graduate Rostamian Mohammad*

*Russia, Moscow, tel. +7(916) 6382144*

*e-mail: [madi-dm@list.ru](mailto:madi-dm@list.ru)*

В.А. Зорин, Ростамиан Мохаммад

### **АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ИРАНЕ**

Разработка методов повышения безопасности и эффективности использования дорожно-строительных машин, базируется на результатах анализа особенностей производства и эксплуатации техники в конкретных условиях. В статье описаны особенности производства и использования дорожно-строительных машин в Иране, используемые при оценке рисков проектирования, производства и эксплуатации машин.

**Ключевые слова:** надёжность, безопасность, оценка рисков, строительные и дорожные машины.

V.A. Zorin, Rostamian Mohammad

### **THE ANALYSIS OF FEATURES OF PRODUCTION OF THE ROAD-CONSTRUCTION EQUIPMENT IN IRAN**

Development of methods of increase in safety and efficiency of use of road-construction machines, is based on results of the analysis of features of production and operation of the equipment in specific conditions. In article the features of production and use of road-construction machines in Iran used at risk assessment of design, production and operation of equipment are described.

**Keywords:** reliability, safety, risk assessment, construction and road machines.

Современный рынок спецтехники в Иране находится на этапе активного развития. Появилась возможность использовать разнообразные виды техники для выполнения строительно-дорожных работ. Перед строительными компаниями стоит задача выбора соответствующего оборудования. Сегодня большинство машин автоматизированы, обладают высокой производительностью, поэтому работы проводятся с экономией человеческих ресурсов и времени.

Дорожно-строительной промышленность является одним из наиболее важных элементов индустрии Ирана. Сегодня ее оборот составляет около \$25 млрд, что обеспечивает 23% всего промышленного производства страны. В дорожно-строительной промышленности Ирана [Statistical Centre Of Iran, 2019] занято более 149 тыс. человек, а с учетом косвенной занятости численность работающих превышает 1,5 млн человек, т.е. около 11,39% трудоспо-

собного населения. Доля иранской дорожно-строительной техники в 2019 г. составила 1,164 млн дорожных машин (более 1% от мировой доли производителей дорожно-строительной техники). Иран входит в топ 20 стран мировых производителей дорожно-строительной техники, и его доля от ВВП страны составляет около 2,5—3%. Эти показатели ставят промышленность дорожно-строительной техники по своей значимости для экономики Ирана сразу после нефтяной и газовой промышленности. После Второй мировой войны производители дорожно-строительной техники при господдержке возобновили свою деятельность, стало расти внутреннее производство, образовались компании производства запчастей и др. Однако полностью преодолеть проблемы и получить конкурентные преимущества в производстве транспортных средств и деталей не получилось. История развития дорожно-строительной промышленности представлена в таблице 1.

Таблица 1

Основные этапы развития  
дорожно-строительной промышленности Ирана

Период, год	Характеристика этапа	Сущность
1965—1972	Сборка дорожных машин в сотрудничестве с Югославией и европейскими производителями дорожно-строительной техники (Швеция, Италия)	Компания Нерсо - основана в городе Арак с целью сборки дорожно-строительной техники
1973—1992	После революций и начала войны, Спад и кризис в отрасли дорожно-строительной техники	Разрушение производственной инфраструктуры, снижение валютных поступлений. 1989 — Хепко на грани закрытия. Государственная поддержка, и предотвращение банкротства
1993—2014	Прямая и косвенная поддержка государства, относительный прогресс отрасли	Хаффар Мшин с 1993 года официально заработала при содействии международных компаний «Поклайн», «Сакаи», «Динапак», «Локомо» из США, Франции, Японии, Швеции и Финляндии
2014 по настоящее время	Период международных санкций против Ирана Постсанкционный период	2012 — Сворачивание сотрудничества партнеров Хепко, Тираже машин и Хаффар машин 2013 — Интенсивное падение производства (количество, качество). 2014 — относительный рост. 2018 — начало восстановления сотрудничества

Годы санкций оказали серьезное влияние на экономику Ирана и особенно на дорожно-строительную промышленность. В результате с 2014 года объем выпуска продукции сократился примерно на 46% (рис. 1), при этом цена дорожных машин увеличилась примерно на 300%. Кроме того, снизилось качество иранского производства дорожных машин.

В Иране есть заводы по производству дорожно-строительной техники с полным производственным циклом, один из которых - Ширазский машиностроительной компании «Хаффар машин». Этот завод построен при участии китайской машиностроительной компании «Лю Гонг» (Liu Gong).

Машиностроительная компания «Хаффар Машин» является дочерним предприятием Организации развития и реконструкции промышленности Ирана. Эта компания была основана в 1974 г. В 1975 г. компания начала сборку дорожно-строительных машин из готовых комплектующих деталей. После победы Исламской революции в Иране на заводе компании было постепенно налажено собственное производство комплектующих и запасных деталей для корпусов и шасси дорожно-строительных машин. В 1991 г. на заводе компании был построен сборочный цех площадью 6 га для производства собственных машин. В 2013 г. –2016 г.г. на заводе этой компании было произведено 2 280 дорожно-строительных машин, в том числе ковшовые автопогрузчики, бульдозеры и грейдеры. Это позволило Ирану сэкономить \$30 млн. Производственная мощность завода около 1 тыс. единиц дорожно-строительной техники в год.

В текущем году компания планирует произвести около 1400 дорожно-строительных машин. По оценкам, потребности Ирана в новой технике составляют около 4 тыс. единиц в год. При этом на отечественных предприятиях производится менее 2 тыс. единиц такой техники. Непосредственно на предприятии работают около 200 специалистов. Еще 2 тыс. человек получили работу на смежных производствах.



Рис. 1. Машиностроительная компания «Хаффар Машин»

Проводимые в МАДИ исследования направлены на разработку основных методов повышения работоспособности строительных, дорожных и путевых машин на различных этапах их создания и функционирования, включая ресурсосберегающие технологии и мероприятия по обеспечению работоспособности при проектировании, изготовлении и эксплуатации машин [1,2,3].

Для достижения этой цели мы определяем исходные данные и проблемы, с которыми мы сталкиваемся.

На схеме и рисунке 2 показано производство дорожно-строительной техники в определенный период времени, а также количество выпускаемой продукции.



Рис. 2. Структура и процентное соотношение производства машин в год Компанией Хаффар



Рис. 3. Результаты анализа производства дорожно-строительной техники в Республике Иран

На рис. 3 проведены основные результаты анализа производства дорожно-строительной техники в Республике Иран за период с 2012 по 2019 год. В последние годы объём производства дорожно-строительной техники в Иране растёт. Начато производство двигателей для дорожно-строительных машин в соответствии с международными стандартами.

Для дорожно-строительной техники, производимой в Иране, являются актуальными две основные проблемы:

1 – управление качеством производства конструкционных материалов и внедрение современных технологий производства деталей дорожных машин. Поиск оптимальных решений достижения максимальных результатов в обеспечении безопасности и надёжности дорожных машин традиционными методами

2 – проблемы контроля качества в дорожно-строительном машиностроении, методика оценки рисков при эксплуатации дорожных машин.

## Вывод

В настоящее время спрос на рынке дорожно-строительной техники в Иране находится в стабильных условиях, и прогнозируется, что общий спрос на рынке будет аналогичен показателям предыдущих лет. В такой ситуации поставщики оборудования пытаются увеличить объёмы поставок за счет импортной техники, а также за счет более активной рекламной деятельности.

## Библиографический список

1. Зорин В. А. Надёжность механических систем. М.: ИНФРА-М 2021. – 380 с.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010- 2011. Управление рисками. Методы оценки рисков.
3. Руководство ИСО/МЭК 73:2002 «Управление риском. Словарь. Руководящие указания по использованию в стандартах»

## References

1. V.A. Zorin. Reliability of mechanical systems. M.: INFRA-M 2021. – 380 pages.
2. GOST P ISO/IEC 31010 - 2011. Risk management. Risk assessment methods.
3. Management of ISO/MEK 73:2002 "Management of risk. Dictionary. Guidelines on use in standards"

УДК 625.08

*Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет  
(МАДИ)  
Докт. техн. наук, зав. кафедрой ПРАДМ  
В.А. Зорин  
Аспирант Та НгокТханг  
Россия, г. Москва, тел. +7(916) 6382144  
e-mail: [madi-dm@list.ru](mailto:madi-dm@list.ru)*

*Moscow State Automobile  
and Road State  
Technical University (MADI)  
D.Sc.( Engineering), Chairman  
V.A. Zorin  
Post graduate Ta Ngok Thang  
Russia, Moscow, tel. +7(916) 6382144  
e-mail: [madi-dm@list.ru](mailto:madi-dm@list.ru)*

В.А. Зорин, Та НгокТханг

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛА ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Обоснование замены традиционных материалов, применяемых при изготовлении деталей трибосопряжений рабочего оборудования строительных машин, на более долговечные, износостойкие, коррозионностойкие и технологичные полимерные композиционные материалы возможно по результатам проведённых трибологических исследований.

**Ключевые слова:** детали, трибологические исследования, полимерный композиционный материал, строительные и дорожные машины.

V.A. Zorin, Ta Ngok Thang

## **DESIGN OF MATERIAL FRICTION DETAILS OF THE WORKING EQUIPMENT CONSTRUCTION MACHINES**

Justification of replacement of the traditional materials applied at production of details of the working equipment construction machines on more durable, wearproof, corrosion-resistant and technological polymeric composite materials perhaps by results of the conducted tribological researches.

**Keywords:** details, tribological researches, polymeric composite material, construction and road machines.

Повышение надежности и безотказности машин, помимо традиционных способов улучшения коррозионной стойкости деталей, можно обеспечить путём замены традиционных конструктивных на полимерные композиционные материалы с заданными физико-механическими свойствами. Необходимые свойства формируются у ПКМ за счёт введения в состав материала соответствующего набора компонентов-наполнителей [1,2].

Для изготовления деталей машин, работающих в узлах трения, используют полимерные композиционные материалы, в состав которых введены специальные наполнители, обладающие способностью снижать коэффициент трения. Как правило, эти наполнители имеют слоистую

структуру. К ним относятся графит, дисульфид молибдена, дисульфид вольфрама и др. Содержание антифрикционных наполнителей в полимерном композиционном материале составляет 2-10 % по массе и при таком количестве мало влияет на остальные свойства полимера [1]. Иногда при создании полимерных композитов с антифрикционными свойствами в их состав вводят металлические порошки для увеличения теплопроводности материала и улучшения отвода тепла из зоны трения. В табл. 1 приведены значения коэффициента трения некоторых антифрикционных наполнителей.

Таблица 1

Коэффициенты трения по стали антифрикционных наполнителей

Наполнитель	Коэффициент трения	Наполнитель	Коэффициент трения
1. Графит	0,04-0,06	4. MoSe <sub>2</sub>	0,02
2. MoS <sub>2</sub>	0,02-0,03	5. WSe <sub>2</sub>	0,02
3. WS <sub>2</sub>	0,06	6. BN	0,07-0,4

Наиболее важным и перспективным твердым смазочным материалом-наполнителем для снижения трения и интенсивности изнашивания полимерных композитов является графит. Графитонаполненные полимерные материалы обсуждались в трибологических исследованиях во многих статьях, опубликованных в последнее время [3,4]. Известно, что использование графита в качестве наполнителя улучшает трибологические свойства композитов с полимерной матрицей [3].

В работе [4] коэффициент трения скольжения ABS пластика заметно снизился при добавлении графита. Чистый ABS пластик имеет очень высокий коэффициент трения (около 0,34) после 1000 циклов скольжения. Это явление становилось более очевидным при увеличении числа циклов. При этом именно за 10 000 циклов образцы ABS серьезно изнашивались. Коэффициент трения увеличился до 0,51. Композит с 7,5 мас.% графита достиг самого низкого значения коэффициента трения. Проведенные исследования также показали, что добавление графита в ABS значительно повышает износостойкость ABS. Наименьший износ наблюдается у композита с 7,5 мас.% графита. Наилучшие трибологические свойства достигаются при максимальном содержании графита.

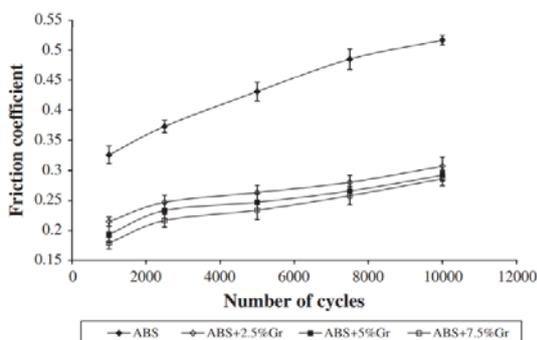


Рис.1. Коэффициент трения в зависимости от количества циклов скольжения для композитов ABS/графит/БС/графит

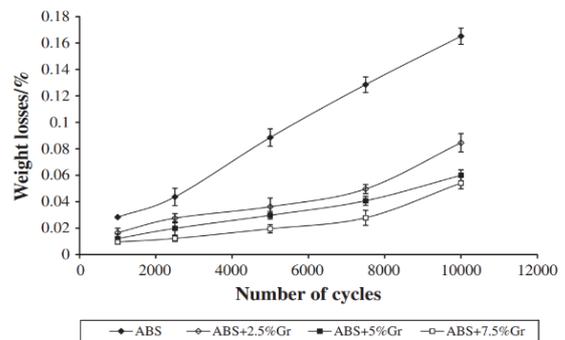


Рис.2. Потеря массы (%) в зависимости от количества циклов скольжения для композитов

С увеличением доли графита свыше 2,5% масс механические свойства, такие как модуль упругости, деформация разрушения и напряжение разрушения, резко снижаются. Фактически, когда массовая доля графита увеличивается с 0% до 2,5%, деформация разрушения падает с 11% до 4,2%, а модуль упругости падает с 2050 МПа до примерно 1250 МПа. Кроме того, напряжение разрушения снижается с 35 МПа до 17,5 МПа при увеличении массовой доли графита с 0% до 7,5%.

Использование металлических порошков в качестве наполнителей помогает устранить недостатки, улучшить свойства полимерных композиционных материалов. В работе [4] показано, что благодаря использованию порошка меди в качестве наполнителя на основе АБС матрицы динамический модуль упругости резко увеличивается, достигая максимального значения (3500-4000 МПа) при содержании 30% меди. Это доказывает, что хорошее сцепление частиц меди с матрицей АБС помогает увеличить жесткость композита. Однако при содержании наполнителя более 30 об. % наблюдается обратная тенденция.

### Выводы

По результатам проведенных исследований предложены варианты состава конструкционного материала для трибосопряжений рабочего оборудования строительных машин, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Состав полимерного композиционного материала по объемному содержанию компонентов

№	% медь	%АБС	% графит	%ПАМ	Всего
1	15	82	1,5	1,5	100
2	15	82,5	1	1,5	100
3	20	77,5	1	1,5	100
4	20	78	0,5	1,5	100
5	25	72,5	1	1,5	100
6	25	73	0,5	1,5	100
7	30	67,5	1	1,5	100
8	30	68	0,5	1,5	100

Обоснование оптимального состава ПКМ для конкретных деталей трибосопряжений рабочего оборудования производится по результатам экспериментальных исследований условий и режимов эксплуатации строительных машин.

### Библиографический список

1. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов в машиностроении: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2017. 301 с.

2. Зорин В.А., Серегин Д.В. Перспективы замещения металлических материалов на полимерные композиционные при производстве грузовых автомобилей. // Журнал «Грузовик» 2016, № 12(8-10)

3. Suresha, B., Chandramohan, G., Renukappa, M.N, Siddaramaiah. / Mechanical and tribological properties of glass–epoxy composites with and without graphite.// Journal of Applied Polymer Science. – 2007. – Vol.103 – P.2472–2480.

4. Ben Difallah, B. / Mechanical and tribological response of ABS polymer matrix filled with graphite powder./ B. Ben Difallah, M. Kharrat, M. Dammak, G. Monteil // Materials & Design. – 2012. – Vol.34 – P.782–787.

#### References

1. N.I. Baurova, V.A. Zorin. Use of polymeric composite materials in mechanical engineering: Manual. – М.: INFRA-M, 2017. 301 pages.

2. V.A. Zorin, D.V. Seryogin. The prospects of replacement of metal materials on polymeric composite by production of trucks.//Gruzovik magazine 2016, No. 12(8-10)

3. Suresha, B., Chandramohan, G., Renukappa, M.N, Siddaramaiah. / Mechanical and tribological properties of glass–epoxy composites with and without graphite.// Journal of Applied Polymer Science. – 2007. – Vol.103 – P.2472–2480.

4. Ben Difallah, B. / Mechanical and tribological response of ABS polymer matrix filled with graphite powder./ B. Ben Difallah, M. Kharrat, M. Dammak, G. Monteil // Materials & Design. – 2012. – Vol.34 – P.782–787.

УДК 621.878.01

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики им.  
проф. Н.А. Ульянова А.А. Серов,  
магистрант А.М. Рогов,  
магистрант Н.Ю. Колмаков  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-71-59-18  
e-mail: serov-andrey76@yandex.ru*

*Voronezh State  
Technical University  
D.Sc.( Engineerin), docent of the construc-  
tion technical and engineering mechanics  
Dept. name's N.A.Ulyanov A.A. Serov,  
mag. A.M. Rogov,  
mag. N.Y. Kolmakov  
Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 2-71-59-18  
e-mail: serov-andrey76@yandex.ru*

А.А. Серов, А.М. Рогов, Н.Ю. Колмаков

## **ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРОМОЛОТ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ БАЗОВОЙ МАШИНЫ**

Экскаваторы и экскаваторы погрузчики являются самой популярной спецтехникой, область применения которой постоянно увеличивается. Такую популярность они достигают за счет огромного количества дополнительного навесного оборудования. Классический вариант экскаватора – это экскаватор с ковшом и отвалом. Остальное оборудование считается навесным и его количество постоянно растет. Но несомненным лидером из всего дополнительного навесного оборудования, несомненно, является гидравлический молот.

**Ключевые слова:** гидравлический молот, гидромолоты разрушители гидромолоты ковочные гидромолоты сваебойные, навесное оборудование, базовая машина.

A.A. Serov, A.M. Rogov, N.Y. Kolmakov

## **PECULIARITIES OF USE OF ATTACHMENT EQUIPMENT HYDRO-BREAKER AND ITS INFLUENCE ON THE WORKING EQUIPMENT OF THE BASE MACHINE**

Excavators and backhoe loaders are the most popular special equipment, the scope of which is constantly increasing. They achieve such popularity due to the huge amount of additional attachments. The classic version of the excavator is an excavator with a bucket and a blade. The rest of the equipment is considered mounted and its number is constantly growing. But the undoubted leader of all the additional attachments, of course, is the hydraulic hammer.

**Key words:** hydraulic hammer, hydraulic hammers, destroyers, forging hydraulic hammers, pile driving hydraulic hammers, attachments, base machine.

**Гидравлический молот** (Рис. 1,2) — сменное рабочее оборудование гидравлических экскаваторов, гидрофицированных машин (стационарных глыборазбивочных установок, погрузчиков, манипуляторов, сваебойных копров), используемое для обработки прочных материалов (горных пород, грунта, металла) или погружения свайных элементов действием ударов падающих частей, разгоняемых жидкостью, находящейся под высоким давлением. Применяется в качестве вспомогательного навесного оборудования при демонтажных работах, при работах с мерзлыми грунтами.



Рис. 1. Гидравлический молот



Рис. 2. Гидравлический молот

### **ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАБОТ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МОЛОТОВ:**

1) разрушение скальных грунтов, бетонных и железобетонных конструкций, мерзлого грунта; 2) уплотнение рыхлого грунта; 3) вскрытие асфальтобетонных покрытий; 4) вскрытие различных подземных коммуникаций, выполненных из прочных материалов (железобетон, каменная кладка); 5) объёмная и листовая ковка; 6) погружение свайных элементов; 7) ударное погружение свай.

### **КЛАССИФИКАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МОЛОТОВ**

**По типу:** гидромолоты открытого типа; гидромолоты закрытого типа (малошумные, снижающие разрушающее воздействие на базовую машину).

**По типоразмерной группе:** легкие гидромолоты (предназначены для экскаваторов массой 0,35...12 т); средние гидромолоты (применяются в работе с несущими машинами массой 8...120 т); тяжелые гидромолоты (используются для техники, масса которой более 120 т).

**По назначению:** гидромолоты разрушители (предназначены для разрушения и вскрытия скальных грунтов, бетонных и железобетонных конструкций, мерзлого грунта); гидромолоты ковочные (применяются для выполнения штамповочных и ковочных работ); гидромолоты сваебойные (применяются для погружения различных свайных элементов (свай, шпунта, труб и т. п.).

Основным элементом молота является его боек, т.е. определенная масса  $m$ , которую нужно переместить на некоторое расстояние от инструмента и разогнать до заданной скорости  $V$  в сторону инструмента. Энергия удара, т.е. кинетическая энергия бойка равна  $mv^2/2$ . Для того чтобы разогнать боек до нужной скорости к нему нужно приложить соответствующую силу, величина которой определяется давлением рабочей жидкости и площадью, на которую действует это давление, а также давление газа в пневмокамере и соответствующей площадью торца бойка, на которую действует давление газа.

Чем короче ход бойка, тем больше должна быть сила, которая его разгоняет. Однако такая же реактивная сила действует в противоположную сторону, т.е. передается на базовую машину. Поэтому сила, разгоняющая боек ограничена возможностью базовой машины ее воспринимать на максимальном вылете рабочего оборудования. Чем короче ход бойка, тем больше частоту ударов можно получить.

Итак, боек гидромолота при его работе совершает возвратно поступательные движения и в крайних своих положениях (в момент удара и в верхней мертвой точке) его скорость в какой-то момент времени оказывается равной нулю. В цикле работы гидромолота можно выделить следующие основные фазы: разгон в сторону от инструмента (условно "вверх"), торможение перед "верхней" мертвой точкой и разгон в сторону инструмента до удара. Это значит, что потребление рабочей жидкости в цилиндре молота в течение всего цикла является величиной переменной в то время, как гидронасосы базовой машины обеспечивает постоянную подачу гидронасоса базовой машины.

Чтобы максимально использовать мощность гидронасоса и увеличить к.п.д. в напорной линии питания гидромолота, по крайней мере, на гидромолотах среднего и тяжелого класса устанавливаются сетевые гидроаккумуляторы, которые накапливают рабочую жидкость под давлением при малой скорости бойка (во время разгона "вверх" и при торможении) и отдают накопленную жидкость в цилиндре молота, когда скорость бойка велика, т.е. при разгоне "вниз" (при рабочем ходе). На гидромолотах легкой серии, где объемы аккумулируемой жидкости невелики, роль гидроаккумуляторов часто выполняют рукава высокого давления, входящие в состав напорной линии питания гидромолота.

Гидромолоты в отличие от других видов сменных рабочих органов экскаваторов являются активным видом оборудования, динамически воздействующим на базовую машину.

Во время работы гидромолота на базовую машину действует знакопеременная реактивная сила, направленная вдоль продольной оси молота, обусловленная возвратно-поступательным движением бойка. Эта реакция уравнивается весом корпусных деталей молота и частью веса экскаватора.

Динамическое воздействие гидромолота на базовую машину проявляется и в создании более высокой, чем при использовании сменного оборудования других видов, ударной нагрузки на элементы рабочего оборудования, шарниры раму и шасси базовой машины. Как следствие этих ударных нагрузок повышенная вибрационная нагруженность, что отрицательно сказывается на операторе – машинисте экскаватора или иной базовой машины.

Рабочее оборудование экскаватора с гидромолотом представляет собой колебательную систему нескольких масс (масса молота, рукояти, стрелы и др.), имеющих шарнирные сочленения и упругости (в т.ч. гидроцилиндры). Для уравнивания реактивной силы, возникающей при движении бойка молота, гидромолот необходимо прижимать к объекту работы с помощью гидроцилиндров привода рабочего оборудования экскаватора.

В комплект оборудования гидромолота (рис. 3) входят: стрела 1, рукоять 4, гидромолот 5 и гидроцилиндры 2, 3, 6 подъема стрелы, поворота рукояти и молота.

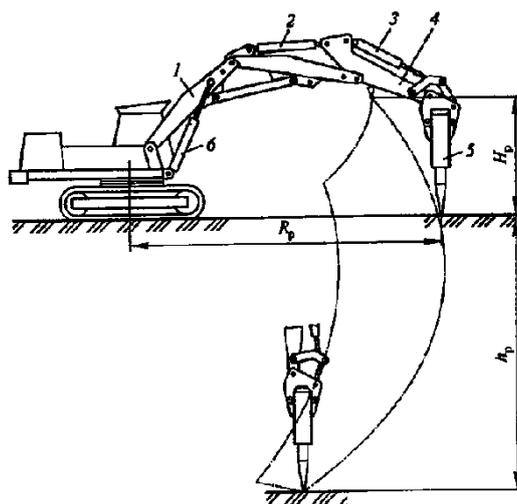


Рис. 3. Гидравлический молот

Контролировать усилие прижатия машинисту затруднительно, поэтому, как правило, экскаватор вывешивается, опираясь на молот, а часть его колес или опорной поверхности гусениц отрывается от поверхности стоянки. Высота отрыва уменьшается по мере заглубления инструмента гидромолота в обрабатываемую среду. При этом трудно обеспечить приложение усилия вдоль продольной оси молота.

Несовпадение направления реакции гидромолота и усилия прижатия ведет к увеличению износа направляющих втулок инструмента, снижению эффективности молота и увеличению вибрационной нагрузки на базовую машину в особенности в тех случаях, когда ось молота не перпендикулярна обрабатываемой поверхности и не совпадает с вертикалью. Кроме того, несоблюдение правильного угла приложения нагрузки от пики влечет за собой риск ее поломки.

Измерения напряжений в элементах металлоконструкции экскаватора и вибрационной нагрузки на рабочем месте машиниста показывают, что при работе гидромолота на разрушаемом объекте, то есть когда внедрение инструмента в разрушаемую среду за каждый удар достаточно мало (1-5мм.), величина напряжений меньше, чем в режиме копания ковшом, а уровень вибрации меньше, чем это регламентировано санитарными нормами.

После каждого удара корпус молота под действием силы прижатия опускается до упора в инструмент, то есть экскаватор как бы падает с некоторой высоты, ударяясь о неподвижный инструмент. Это соударение вызывает реакцию, величина которой тем больше, чем больше внедрение инструмента за предыдущий удар.

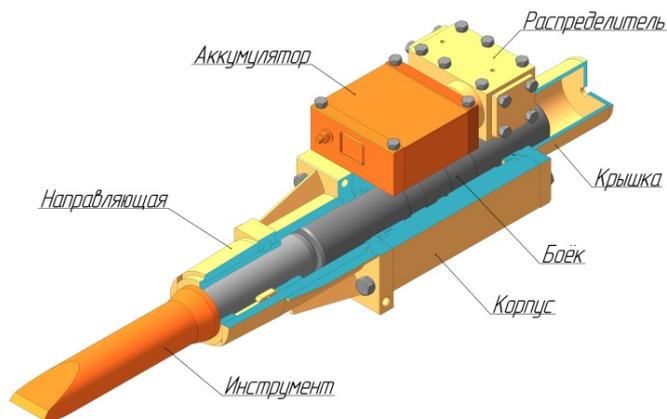
При внедрении инструмента за удар свыше 10-15 мм эта реакция может превышать величину реакции, возникающей при реверсировании бойка гидромолота.

Самое большое негативное воздействие возникает при внезапном разрушении, например, негабаритных кусков горных пород или каких-либо бетонных конструкций.

В этих случаях «падение» экскаватора происходит с наибольшей высотой, ограниченной высотой отрыва колес или гусениц от поверхности стоянки.

В упрощенном варианте принцип работы молотов гидравлических можно представить следующим образом (Рис 4):

- распределить создает соответствующее давление рабочей жидкости, передающей импульс бойку;
- поршень (боёк), совершая движения вверх-вниз, бьет по инструменту.

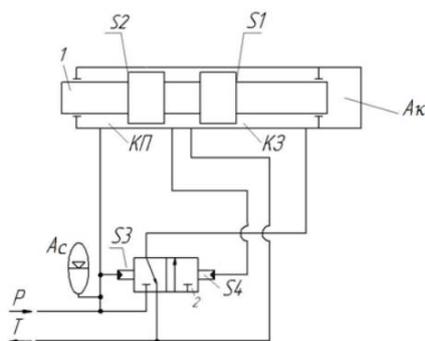


**Рис. 4.** Принцип работы гидромолота

В отличие от ручного пневмомолотка гидравлическому оборудованию не требуется компрессор.

Однако стоит учесть, что одними из элементов системы являются: пневмораспределитель; азотная камера; гидравлический аккумулятор (в устройствах, относящихся к легкому классу, их функции выполняют рукава высокого давления).

Наиболее распространенная принципиальная схема большинства европейских гидравлических молотов, представлена на рис. 6. Здесь ударный гидроцилиндр (УГЦ) имеет две камеры: переднюю (неуправляемую), находящуюся все время под давлением рабочей жидкости, и заднюю (камеру рабочего хода, управляемую), попеременно соединяющуюся с напорной и сливной линиями. Ведомое звено УГЦ выполняет совмещенные функции поршня, бойка и распределителя первого каскада (поршень-боекзолотник ПБЗ). В поршневой полости УГЦ имеется встроенный автономный пневматический аккумулятор.



**Рис. 6.** Схема принципиальная гидравлическая («европейских» моделей гидромолотов)

Схема принципиальная гидравлическая: 1 – поршень-боек-золотник; 2 – гидрораспределитель второго каскада; Ак – автономный аккумулятор; Ас – сетевой пневмоаккумулятор; К1 – передняя камера (неуправляемая); К3 – задняя камера (управляемая); S1, S2 – площади камер ударного гидроцилиндра ( $S1 > S2$ ); S3, S4 – площади камер управления золотником ( $S3 < S4$ ).

## УМЕНЬШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БАЗОВУЮ МАШИНУ

Ударный блок гидромолота, чаще всего жестко закрепляемый в несущих щеках, размещают в коробчатом кожухе с возможностью некоторого относительного перемещения при сжатии упругих амортизаторов, выполненных в виде спиральных пружин (некоторые модели фирмы Rammer) или резиновых или пластмассовых блоков.

Действительно такие амортизаторы несколько снижают динамику воздействия на экскаватор, когда упругая деформация амортизаторов не превышает величину внедрения инструмента за удар.

Но величина хода амортизаторов, а, следовательно, величина их энергоемкости невелика, поэтому они не защищают экскаватор с вывешенными колесами при внезапном разрушении обрабатываемого материала.

Учитывая особенности эксплуатации такого сменного рабочего органа, как гидромолот, в руководствах по эксплуатации обычно даются следующие рекомендации: устанавливать гидромолот на объект работы перпендикулярно обрабатываемой поверхности; прижимать гидромолот к объекту работы с помощью гидроцилиндров рабочего оборудования так, чтобы равнодействующая сила прижима была направлена вдоль оси молота; при прижатии молота и его работе колеса и гусеницы экскаватора не должны отрываться от поверхности стоянки более чем на 150мм; при прижатии молота гидроцилиндры привода рабочего оборудования экскаватора не должны доходить до своих крайних положений примерно на 100 мм.

Многие собственники техники опасаются использовать данное оборудование на своих машинах, однако при правильной эксплуатации гидромолоты не наносят существенного вреда базовым машинам.

### Выводы

Соблюдение всех правил эксплуатации и технического обслуживания гидромолотов позволит максимально полно раскрыть потенциал этого навесного оборудования. При этом выполнение нижеуказанных рекомендаций позволит значительно продлить срок службы как гидромолота, так и базовой машины и ее рабочего оборудования:

- устанавливать гидромолот на объект работы перпендикулярно обрабатываемой поверхности;
- прижимать гидромолот к объекту работы с помощью гидроцилиндров рабочего оборудования так, чтобы равнодействующая сила прижима была направлена вдоль оси молота;
- колеса и гусеницы экскаватора не должны отрываться от поверхности стоянки более чем на 150 мм;
- при прижатии молота гидроцилиндры привода рабочего оборудования экскаватора не должны доходить до крайнего положения примерно на 100 мм.

Гидравлический молот – это очень эффективное сменное навесное рабочее оборудование, позволяющее существенно увеличить спектр возможности базовой строительной машины.

### Библиографический список

1. Интернет-ресурс <https://ac.tools/dokumentaciya/dokumentaciya-na-navesnoe-oborudovanie/>
2. Интернет-ресурс <https://www.tradicia-k.ru/articles/principy-raboty-gidromolot-obschaya-informaciya/>
3. Интернет-ресурс <https://specnavigator.ru/gidromolot/na-baze-ekskavatora.html>

### References

1. Online resource <https://ac.tools/dokumentaciya/dokumentaciya-na-navesnoe-oborudovanie/>
2. Online resource <https://www.tradicia-k.ru/articles/principy-raboty-gidromolot-obschaya-informaciya/>
3. Online resource <https://specnavigator.ru/gidromolot/na-baze-ekskavatora.html>

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова Е.А. Тарасов*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*Н.М. Волков*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*Д.Н. Дегтев*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*С.А. Никитин*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*А.Н. Щиенко*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*А.А. Серов*

*Эксперт ООО Экспертное Учреждение  
“Региональный Центр Автотехнической  
Экспертизы” И.В. Жерносек*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29*

*e-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)*

*Voronezh State Technical University*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova E.A. Tarasov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova N.M. Volkov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova D.N. Degtev*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova S.A. Nikitin*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova A.N. Shchienko*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova A.A. Serov*

*Ekspert LLC Ekspertasutus "piirkondlik  
autotehnika Ekspertiisikeskus"*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29*

*e-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)*

*Е.А. Тарасов, Н.М. Волков, Д.Н. Дегтев, С.А. Никитин,  
А.Н. Щиенко, А.А. Серов, И.В. Жерносек*

### **ПРИМЕР ИССЛЕДОВАНИЯ РЕДУКТОРА ВЕДУЩЕГО МОСТА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА КАМАЗ**

Исследование имело своей целью установление причин неисправности редуктора ведущего моста транспортного средства КАМАЗ гос. рег. знак ХХХХХ. Устанавливается причина возникновения выявленных неисправностей. Решается вопрос к какому типу дефектов производственному, эксплуатационному или последствиям некачественно выполненных ремонтных работ относятся выявленные неисправности исследуемого редуктора.

**Ключевые слова:** редуктор, КАМАЗ, неисправность.

E.A. Tarasov, N.M. Volkov, D.N. Degtev, S.A. Nikitin,  
A.N. Shchienko, A.A. Serov, I.V. Zhernosek

## AN EXAMPLE OF A STUDY OF A DRIVE AXLE GEARBOX KAMAZ VEHICLES

The study was aimed at establishing the causes of malfunction of the gearbox of the drive axle of the KAMAZ vehicle state reg. sign XXXXXX. The cause of the identified malfunctions is established. The question is being solved to which type of defects in production, operational or the consequences of poorly performed repair work include the identified malfunctions of the gearbox under study.

**Keywords:** gearbox, KAMAZ, malfunction.

### **На исследование представлен (объект исследования):**

Редуктор ведущего моста транспортного средства КАМАЗ гос. рег. знак XXXXX.

### **На разрешение специалисту поставлены следующие вопросы:**

1. Имеет ли редуктор ведущего моста транспортного средства КАМАЗ гос. рег. знак XXXXX неисправности? Если да, то какие?
2. В чем причина возникновения выявленных неисправностей?
3. К какому типу дефектов производственному, эксплуатационному или последствиям некачественно выполненных ремонтных работ относятся выявленные неисправности?

**Исходные данные:** XXXXX производили капитальный ремонт редуктора транспортного средства КАМАЗ гос. рег. знак XXXXX. После непродолжительной эксплуатации, со стороны редуктора стали проявляться посторонние звуки. После обращения к организации производившей ремонтные работы, редуктор был разобран и в гарантийном ремонте получен отказ.

## ===== ИССЛЕДОВАНИЕ =====

Экспертный осмотр исследуемого объекта проводился 26 марта 2021 года по адресу: Орловская обл., Кромский р-н, с. Бельдяжки. На осмотре присутствовали: со стороны XXXXX - представитель XXXXX, со стороны организации проводившей ремонт редуктора представители отсутствовали. Осмотр проводился при естественном и искусственном электрическом освещении, невооруженным глазом. При проведении исследования применялись: органолептический, инструментальный и экспертный методы. Съемка проводилась с помощью цифрового фотоаппарата «SONY DSC-W210» и портативным цифровым микроскопом с возможностью увеличения до 200X.

Описание исследуемого объекта: редуктор ведущего моста предназначен для распределения крутящего момента на каждое из ведущих колес транспортного средства посредством ведущей шестерни и ведомой шестерни главной передачи.

Основные характеристики редуктора — КПД, передаточное отношение, передаваемая мощность, максимальные угловые скорости валов, количество ведущих и ведомых валов, тип и количество передач и ступеней. Редукторы на автомобилях оснащены гипоидными передачами, которые называют главной парой.

Гипоидная передача (гиперблоидная) — вид винтовой зубчатой передачи, осуществляемой коническими колёсами (с косыми или криволинейными зубьями) со скрещивающимися осями (обычно 90°). Гипоидная передача имеет смещение по оси между большим и малым зубчатыми колесами. Данный тип передачи характеризуется повышенной нагрузочной способностью, плавностью хода и бесшумностью работы. Передаточное отношение от 1 до 10 (в пределе: до 60).

В отличие от обычных конических передач, начальные конусы которых имеют совпадающие вершины и касаются по общей образующей, вершины начальных конусов гипоид-

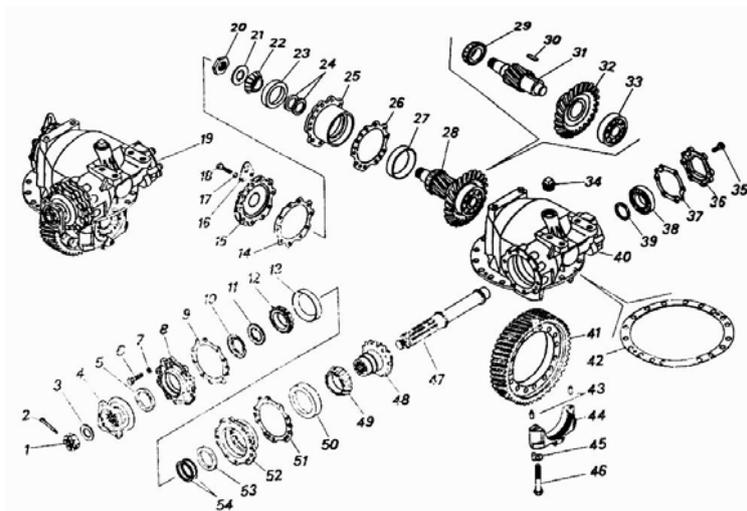
ных колес не совпадают, а их оси смещены на величину так называемого гипоидного смещения  $E = kE dm^2$ , где  $kE$  — коэффициент гипоидного смещения (обычно  $kE = 0,2—0,3$ ), а  $dm^2$  — средний начальный диаметр колеса. Зубья гипоидных колес имеют пропорционально уменьшающуюся высоту от наружного к внутреннему диаметру.

Компания MERITOR находящаяся в США это производитель различных автокомпонентов и запчастей для рынка запасных частей в секторе грузового автотранспорта. Компания производит такие детали как оси и детали подвески, в том числе для прицепов, полуприцепов и запчастей к ним, как для легковой, так и для большегрузной техники, а также запчастей для пневматических дисковых тормозов, воздушных компрессоров и других узлов.

### ----- Вопрос № 1 -----

В результате экспертного осмотра объекта исследования установлено следующее: идентификация исследуемого объекта и его идентификационные параметры и характеристики соответствуют данным производителя использованных специалистом в рамках проведения экспертного осмотра. Деталь предоставлена в демонтированном виде и разобранном состоянии. По характеру взаимного износа все предоставленные детали возможно было отнести к единому механизму. У представителя заказчика и специалиста причастность предоставленных деталей к спорному редуктору сомнений не вызвало (фото 1...2 фототаблицы).

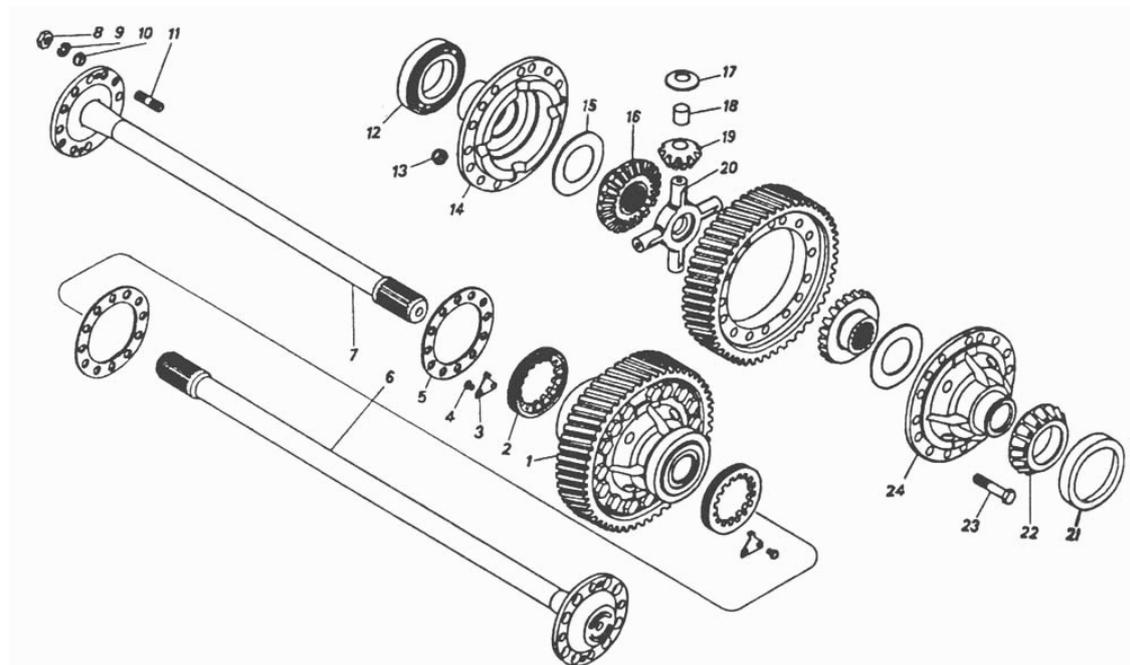
Исследуемый редуктор состоит из главной передачи и дифференциала. Подробная схема редуктора с составными частями приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема ведущего моста:

- 1 – гайка прорезная; 2 – шплинт 4,7x50; 3 – шайба плоская; 4 – фланец ведущего вала в сборе;
- 5 – манжета 70x92 в сборе; 6 – болт M12x1,25-6gx50; 7 – шайба 12 пружинная; 8 – крышка стакана подшипников;
- 9 – прокладка; 10 – маслоотражатель; 11 – шайба упорная; 12 – кольцо подшипника внутреннее с сепаратором и роликами; 13 – кольцо подшипника наружное; 14 – прокладка; 15 – крышка стакана подшипника;
- 16 – скоба редуктора; 17 – шайба 12 пружинная; 18 – болт M12x1,25-6gx50; 19 – передача главная заднего моста в сборе; 20 – гайка подшипника; 21 – шайба опорная; 22 – кольцо подшипника внутреннее с сепаратором и роликами; 23 – кольцо подшипника наружное; 24 – шайба регулировочная; 25 – стакан подшипника;
- 26 – прокладка регулировочная; 27 – кольцо подшипника наружное; 28 – шестерня ведомая в сборе;
- 29 – Кольцо внутреннее с сепаратором и роликами в сборе; 30 – шпонка 14x9x45; 31 – шестерня ведущая цилиндрическая; 32 – шестерня ведомая коническая; 33 – подшипник роликовый радиальный; 33 – подшипник роликовый радиальный в сборе; 34 – пробка КГ 1/4" ОСТ 37.001.178-82; 35 – болт M10x1,25-6gx35;
- 36 – крышка заднего подшипника; 37 – прокладка крышки; 38 – подшипник роликовый радиальный;
- 38 – подшипник роликовый цилиндрический в сборе; 39 – шайба опорная заднего подшипника ведущего вала;
- 40 – картер главной передачи; 41 – шестерня ведомая цилиндрическая; 42 – прокладка картера редуктора;
- 43 – штифт крышки подшипника дифференциала; 44 – крышка подшипника; 45 – шайба стопорная;
- 46 – Болт M18x1,5-6gx110; 47 – вал ведущий заднего моста; 48 – шестерня ведущая коническая в сборе;
- 49 – кольцо подшипника внутреннее в сборе; 50 – кольцо наружное; 51 – прокладка регулировочная;
- 52 – стакан подшипника; 53 – втулка распорная; 54 – шайба регулировочная подшипников

Дифференциал заднего моста и его составные части предоставлены на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема дифференциала и осей заднего моста:

- 1 – дифференциал заднего моста в сборе; 2 – гайка подшипника; 3 – стопор гайки; 4 – болт М8-6gx12; 5 – прокладка полуоси; 6 – полуось длинная левая; 7 – полуось короткая правая; 8 – гайка М16x1,5-6Н; 9 – шайба 16 пружинная; 10 – втулка разжимная шпильки полуоси; 11 – шпилька М16x1,5x22x35; 12 – подшипник; 13 – гайка М14x1,5-6Н ОСТ 37.001.197-75; 14 – чашка дифференциала правая; 15 – шайба опорная; 16 – шестерня полуоси; 17 – шайба опорная; 18 – втулка сателлита дифференциала заднего моста; 19 – сателлит; 20 – крестовина дифференциала заднего моста; 21 – кольцо наружное; 22 – кольцо внутреннее с сепаратором и роликами в сборе; 23 – болт М14x1,5-6gx75; 24 – чашка дифференциала

В ходе проведения осмотра предоставленных деталей и исследования установлено, что наибольшие повреждения с отрывом зубьев и разрушением материала имеет ведущая цилиндрическая шестерня (№ 31 на схеме) (фото 4...6 фототаблицы);

- данная ведущая цилиндрическая шестерня имеет следы разрушения зубьев в виде сколов, и отрывов от основания зубьев (фото 4...5 фототаблицы);

- наибольшие разрушения с обрывом и утратой зубьев наблюдаются только на части окружности шестерни и представляют результаты аварийного износа шестерни (фото 5...6 фототаблицы).

Аварийный износ – вид износа, после достижения которого, происходит катастрофически быстрое его нарастание [22].

Сколы части зубьев имеет так же ведомая цилиндрическая шестерня, по характеру образования сколов можно утверждать о попадании обломков во время вращения данной шестерни что и привело к образованию сколов (фото 7...8 фототаблицы).

Подшипники качения и обоймы подшипников не имеют следов разрушения и следов образования аварийного износа и перегрева материала который характеризовался бы образованием следов потемнения и побегов и на металле (фото 9...12 фототаблицы).

Подшипники качения – это опоры вращающихся или качающихся деталей, использующие элементы качения (шарики или ролики) и работающие на основе трения качения [21].

Детали сателлитов дифференциала и посадочные места осей сателлитов не имеют следов разрушения с образованием перегрева, потемнения металла или аварийного износа (фото 13...16 фототаблицы);

- чашка корпуса сателлитов, а так-же места расположения осей сателлитов в корпусе чашки не имеют следов механических повреждений и следов аварийного износа (фото 17 фототаблицы);

- детали блокировки дифференциала не имеют следов механических повреждений и разрушений (фото 18 фототаблицы).

Как известно из справочной литературы [18] и [19] межколесный дифференциал поровну распределяет крутящий момент между колесами моста и обеспечивает вращение колес с разной частотой при движении автомобиля по неровной дороге и на поворотах.

При движении автомобиля по труднопроходимым участкам пути с большой разницей сцепления левых и правых колес, действие межколесного дифференциала может способствовать буксованию одного из колес моста с передачей через него крутящего момента. Поэтому для предотвращения длительной пробуксовки и повышения проходимости межколесные дифференциалы заднего и среднего мостов должны быть кратковременно заблокированы, для чего и предназначена установленная в мостах блокировка.

Остальные шестерни редуктора в т.ч. ведомые конические и места установки подшипников в корпусе редуктора не имеют следов разрушения и следов аварийного износа (фото 19...22 фототаблицы).

Масло, слитое из редуктора, на осмотр не представлено в связи с чем исследование масла не производилась т.к. слив производился в отсутствии специалиста.

На основании проведенного выше исследования можно сделать вывод: редуктор имеет неисправности в виде разрушения только одной ведущей цилиндрической шестерни с обломом зубьев и отделением материала зубьев от шестерни.

## ----- Вопрос № 2 -----

Анализируя причины появления неисправностей исследуемого редуктора, специалист считает необходимым, обратится к справочной литературе [18] и [19] для установления следующего: основные причины выхода из строя редукторов, которые заключаются в низком уровне смазочного материала, нарушении регулировки зазора между ведущим и ведомым колесом, длительная пробуксовка одного из ведущих колес, эксплуатация с постоянно заблокированным редуктором и износ или разрушение подшипников.

Рассмотрим все возможные версии в порядке их выдвижения. Версии с низким уровнем смазочного материала и с износом или разрушением подшипников в данном случае не могут быть рассмотрены, т.к. на всех внутренних деталях редуктора не установлено следов перегрева материала характеризующегося потемнением и образованием следов побегалости на деталях пар трения. Кроме того все подшипники исследуемого редуктора не имеют следов разрушения что указывает на несостоятельность данных версий.

Рассматривая версию с длительной пробуксовкой одного из ведущих колес или эксплуатации с постоянно заблокированным редуктором необходимо отметить, что детали дифференциала и блокировки редуктора не имеют никаких следов разрушения или перегрева материала, что произошло бы в первую очередь (фото с 13 по 18 фототаблицы).

В исследуемых редукторах, при вращении сателлитов, под действием центробежной силы происходит удаление смазки с поверхности осей сателлитов, в результате чего трущиеся детали остаются без достаточного количества смазки. Коэффициент трения увеличивается, как следствие повышается температура осей сателлитов. При продолжительной пробуксовке одного из колес ведущей оси транспортного средства, температура деталей межколесного дифференциала повышается до предела возможности смазки в результате чего последняя теряет свои свойства и происходит повреждение деталей, перегрев поверхностей сопрягаемых деталей и их дальнейшее разрушение.

Во время длительной пробуксовки только одного колеса дифференциальные шестерни поворачиваются в несколько раз быстрее, чем приводной вал, что приводит к повышению температуры смазки и потере её эффективности и как следствие недостаточной смазке шестерней в результате чего возникает эффект «масляного голодания» трущихся деталей.

Масляное голодание - отсутствие смазки или недостаточное давление в системе смазки. В результате этого к деталям и элементам поступает недостаточное количество масла, что существенно увеличивает трение и температуру трущихся сопряжений. При масляном голодании все элементы трущегося механизма подвержены высокому износу, что впоследствии, под действием чрезвычайно высоких температур, может привести к полному разрушению трущихся деталей [22].

Учитывая, что все детали дифференциала не имеют следов разрушений и перегрева материала можно установить, что версии с длительной пробуксовкой одного из ведущих колес или эксплуатации с постоянно заблокированным редуктором не находят своего подтверждения.

Нарушении регулировки зазора между ведущим и ведомым колесом так же маловероятная версия т.к. в данном случае произошло бы разрушение двух колес шестерней редуктора а в данном исследуемом случае наблюдается разрушение только одной ведущей цилиндрической шестерни с обломом зубьев (фото с 3 по 6 фототаблицы).

Для ответа на поставленный вопрос, специалистом проведено исследование с применением портативного цифрового микроскопа с возможностью увеличения до 200X проведено исследование мест разрушения зубьев которые представлены на фото с 23 по 26 фототаблицы. Зона разрушения части выглядит темно серой, частично покрыта остатками масла. Наличие зоны серого цвета говорит о хрупком изломе. При рассмотрении поверхности излома нетрудно заметить, что она состоит из граней мелких частиц. При хрупком изломе разрушение не сопровождается значительной пластической деформацией зерен материала в зоне, прилегающей к поверхности излома. Хрупкое разрушение происходит внезапно при однократном приложении силы или под действием повторных ударных сил при малой степени местной пластической деформации.

Особо стоит отметить наличие в полости начала разлома темных зон в виде свободных полостей на части которых, просматриваются отдельные волокна металла и темные пятна маслянистых отложений, что указывает на наличие трещин зубьев и попадании масла в полость детали (фото 25...26 фототаблицы).

Очаг разрушения имеет хрупкий характер разрушения, данный тип разрушения свидетельствует о высокой скорости деформации в момент, предшествующий разрушению. Столь высокая скорость разрушения может быть только в результате нагружения превышающего плотность материала зубьев шестерни (фото 25...26 фототаблицы).

Далее проведено исследование зуба шестерни находящегося непосредственно вблизи места разрушения и установлено что в нижней части зуба так-же имеются трещина в нижней его части (фото 27...28 фототаблицы).

Из всего описанного выше можно сделать следующие выводы:

1. Структура излома части зубьев имеет темные полости и неоднородна по сечению. Что указывает на наличие полостей и трещин до разрушения зуба шестерни.

2. Очаг разрушения имеет хрупкий характер разрушения, данный тип разрушения свидетельствует о высокой скорости деформации в момент, предшествующий разрушению. Столь высокая скорость разрушения может быть только в результате превышения прочнотти материала зубьев шестерни.

3. Пластические деформации, выявленные, например, на верхней части разлома зубьев и сколов, носят вторичный характер и образованы от разрушения зубьев расположенных рядом.

В исследуемом случае как показывают результаты применения цифрового микроскопа, наблюдается следы резкого разрушения одного или нескольких зубьев в результате образования усталостных трещин в наиболее нагруженных местах. Данное разрушение спровоцировано усталостными трещинами у основания зубьев, что обусловлено присутствием свободных полостей (трещин) что в свою очередь способствовало пониженной прочнотти зубьев шестерни и привело к её разрушению.

На правильность данной версии указывает и тот фактор, что рабочая поверхность зубьев имеет разрушение у основания зубьев и расположенные рядом зубья так же имеют образование первичных трещин.

Усталость металла — процесс постепенного накопления повреждений под действием переменных (часто циклических) напряжений, приводящий к изменению его свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению материала за указанное время [22].

Принимая во внимание, описанное выше можно сделать следующий вывод: причиной выявленных неисправностей является усталостное разрушение материала зубьев ведущей цилиндрической шестерни.

### ----- Вопрос № 3 -----

Для ответа на поставленный вопрос необходимо обратиться к рекомендациям [14] из которых необходимо установить следующее: дефектом называется каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям.

Дефекты эксплуатационного характера - обусловлены нарушением правил эксплуатации изделия, условий хранения и транспортировки, интенсивным использованием изделия, естественным износом. К данным дефектам относятся механические повреждения в виде трещин, сколов, царапин, пластических деформаций и разрыва материала, коррозия, оплавление, окалины и т.д. Дефекты из-за нарушения правил эксплуатации изделия возникают из-за его использования не по функциональному назначению, нарушения процедур предварительной подготовки или работы промышленного оборудования, использования несоответствующих вспомогательных инструментов, оснастки и расходных материалов, интенсивном использовании оборудования при превышении его допустимой календарной производительности, несоблюдения условий внешней среды при функционировании оборудования, воздействия агрессивных сред.

Дефекты вследствие естественного износа могут проявляться в виде износа основных деталей в результате трения, коробления ответственных деталей из-за перераспределения внутренних напряжений в процессе эксплуатации, коррозии, старения пластмасс, резины, рабочей жидкости, смазочных масел, электронной аппаратуры и др. Дефекты вследствие естественного износа возникают в результате медленно протекающих процессов, которые приводят к прогрессивному ухудшению технических характеристик изделий производственно-технического назначения, называемому физическим старением.

Производственные дефекты - обусловлены неоптимальным выбором структуры изделия, ошибками в выборе конструктивных форм и размеров деталей, ошибками в выборе материалов деталей и подборе комплектующих элементов, заданием ошибочных требований к качеству изготовления узлов и деталей, неполным или некачественным проведением всех расчетов, необходимых для определения требований к конструктивным единицам изделия с учетом действующих нагрузок и подтверждения надежности изделия.

Проводя исследование деталей редуктора специалистом было установлено что по совокупности следовой обстановки и выработки на деталях разрушенная ведущая цилиндрическая шестерня не была заменена в процессе проведения ремонтных работ на исследуемом редукторе. Для полного восстановительного ремонта необходимо было провести дефектовку всех деталей редуктора, тем более наиболее нагруженных, к которым и относится ведущая шестерня. Образование усталостных трещин на зубьях шестерни и не проведение дефектовочных работ и замены шестерни привели к разрушению детали в процессе непродолжительной эксплуатации. Выявленные неисправности относятся к последствиям некачественно выполненных ремонтных работ.

## ===== В Ы В О Д Ы =====

По результатам проведенной экспертизы необходимо сделать следующий вывод:

### ----- Вопрос № 1 -----

Редуктор имеет неисправности в виде разрушения только одной ведущей цилиндрической шестерни с обломом зубьев и отделением материала зубьев от шестерни.

### ----- Вопрос № 2 -----

Причиной выявленных неисправностей является усталостное разрушение материала зубьев ведущей цилиндрической шестерни.

### ----- Вопрос № 3 -----

Образование усталостных трещин на зубьях шестерни и не проведение дефектовочных работ и замены шестерни привели к разрушению детали в процессе непродолжительной эксплуатации. Выявленные неисправности относятся к последствиям некачественно выполненных ремонтных работ.

### Библиографический список

1. О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации: Федеральный Закон от 31 мая 2001 № 73-ФЗ / Российская газ. – 2001. – 05.06. – С. 3.
2. Об организации независимой технической экспертизы транспортных средств: Постановление Правительства РФ от 24 апреля 2003 № 238 / Российская газ. – 2003. – 30.04. – С.4.
3. Об утверждении правил оказания услуг (выполнения работ) по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств: Постановление Правительства РФ от 11 апреля 2001 № 290 / Российская газ. – 2001. – 13.05. – С. 2.
4. Беляева, Л. Д. Современные возможности экспертиз : методическое пособие для экспертов, следователей и судей / Л. Д.Беляева, А. Ю. Бутырин, Ю. М. Воронков – М. : Триада-Х, 2000.
5. РД 37.009.025-92 Положение о гарантийном обслуживании легковых автомобилей и мототехники.
6. Кузнецов, А. С. Слесарь по ремонту автомобилей : учеб. пособие для нач. проф. образования / А.С. Кузнецов. 6-е изд.,стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2011 – 304 с.
7. Березин, С.В. Справочник автомеханика / С. В. Березин. – М. : Феникс 2008 – 346 с.
8. Технология производства и ремонта автомобилей : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Ярошевич, А. С. Савич, В. П. Иванов. – Минск. : Адукацыя і выхаванне, 2008 – 640 с.
9. Малкин, В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.С. Малкин. – М. : Издательский центр «Академия», 2007 – 288 с.
10. Демокритов В.Н. и др. Основы проектирования машин. : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 236 С.
11. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В 3-х т. Т.2 - 9-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И. Н. Жестковой. – М. : Машиностроение, 2006. – 960 с.

12. Федотов А.И., Зарщиков А.М. Конструкция, расчет и потребительские свойства автомобилей: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений под общей редакцией Федотова А. И. – Иркутск, 2007. – 334 с.

13. Основные положения по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения: Постановление Правительства РФ от 23 октября 1993 №1090 / Российская газ. – 1993. – 06.11. – С. 3.

14. Замиховский, М. И. Исследование недостатков автомобилей, находящихся в эксплуатации : методическое пособие для экспертов и судей / М. И. Замиховский, А. В. Рузский, Ю. М. Воронков – М. : ИПК РФЦСЭ, 2006.

15. ГОСТ 15467-79. «Управление качеством продукции. Основные понятия, требования и определения» (понятия - производственный явный, скрытый устранимый и неустранимый дефект).

16. Евтюков С.А., Гальцев Ю.В., Колкутин В.В., Рябинин Г.А., Метрологический справочник для судебных экспертов и адвокатов, С-Пб, «ДНК», 2007 г.

17. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов/К.В.Фролов, С.А.Попов, А.К.Мусатов и др.; Под ред. К.В.Фролова. - М.: Высшая школа, 2010. - 496с.

18. Раймпель Й. Шасси автомобиля /Пер. с нем. В.П.Агапова; Под ред. О.Д.Златовратского. - М.: Машиностроение, 2006. - 320.: ил.

19. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Детали машин: Учеб.пособие для машиностроит. спец. учреждений среднего профессионального образования. - 4-е издание, справл. - М.:Машиностроение, 2008. - 536с.

20. Шадричев В.А. Основы технологии автостроения и ремонт автомобилей. Учебник для вузов. Л., Машиностроение, 2009. - 560с.

21. Малкин, В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.С. Малкин. – М. : Издательский центр «Академия», 2007 – 288 с.

22. Карагодин, В. И. Ремонт автомобилей и двигателей: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. И. Карагодин, Н.

23. ГОСТ 5640-68 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты.

24. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.

25. Электронные информационные справочники.

## References

1. On state forensic activities in the Russian Federation: Federal Law of may 31, 2001 No. 73-FZ / Russian gas. – 2001. – 05.06. – P. 3.

2. About the organization of an independent technical examination of vehicles In the formation of the government of the Russian Federation dated 24 April 2003 No. 238 / Russian gas. – 2003. – 30.04. – S. 4.

3. On approval of the rules for the provision of services (performance of works) on maintenance and repair of motor vehicles: Decree of the Government of the Russian Federation No. 290 of April 11, 2001 / Russian Gas. - 2001. - 13.05. - p. 2.

4. Belyaeva, L. D. Modern possibilities of expertise : a methodological guide for experts, investigators and judges / L. D.Belyaeva, A. Y. Butyrin, Y. M. Voronkov - М. : Triad-X, 2000.

5. RD 37.009.025-92 Regulations on warranty service of passenger cars and motorcycles.

6. Kuznetsov, A. S. Car repair mechanic : textbook. manual for the beginning of professional education / A.S. Kuznetsov. 6th ed., ster. - М. : Publishing Center "Academy", 2011 - 304 p.

7. Berezin, S.V. Handbook of automechanics / S. V. Berezin. - М. : Phoenix 2008 - 346 p.

8. Technology of production and repair of cars : studies. manual for students. higher. studies. institutions / V. K. Yaroshevich, A. S. Savich, V. P. Ivanov. - Minsk. : Adukatsia i vykhavanne, 2008 - 640 p.
9. Malkin, V.S. Technical operation of cars: Theoretical and practical aspects : textbook. manual for students. higher. studies. institutions / V.S. Malkin. - M. : Publishing center "Academy", 2007 - 288 p.
10. Demokritov V.N. et al. Fundamentals of machine design. : studies. manual for students. higher. studies. institutions / Ulyanovsk: UISTU, 2007-- - 236 P.
11. Anuryev V.I. Handbook of a machine-building designer / In 3 vols. Vol. 2 - 9th ed., reprint. and additional / Edited by I. N. Zhestkova. - M. : Mashinostroenie, 2006-- - 960 p.
12. Fedotov A.I., Zarshchikov A.M. Design, calculation and consumer properties of cars: textbook. manual for students. higher. studies. institutions under the general editorship of Fedotov A. I. - Irkutsk, 2007-- - 334 p.
13. Main provisions for the admission of vehicles to operate and duties of officials to ensure road safety: the RF Government Decree of October 23, 1993, No. 1090 / Russian gas. – 1993. – 06.11. – P. 3.
14. Zamikhovskiy, M. I. a study of the shortcomings of the vehicles in operation : a manual for experts and judges / M. I. Zamikhovskiy, A. V. Ruzsky, J. M. Voronkov, M. : IPK center of forensic expertise, 2006.
15. GOST 15467-79. "Product quality management. Basic concepts, requirements and definitions" (concepts - manufacturing explicit, hidden removable and irremediable defect).
16. Evtyukov S.A., Galtsev Yu.V., Kolkutin V.V., Ryabinin G.A., Metrological handbook for forensic experts and lawyers, S-Pb, "DNA", 2007.
17. Theory of mechanisms and machines: Studies for universities/K.V.Frolov, S.A.Popov, A.K.Musatov, etc.; Edited by K.V.Frolov. - M.: Higher School, 2010. - 496s.
18. Raimpel Y. The chassis of the car / Translated from German by V.P.Agapov; Edited by O.D.Zlatovratsky. - M.: Mashinostroenie, 2006. - 320.: ill.
19. Dunaev P.F., Lelikov O.P. Machine parts: Textbook.manual for mechanical engineering. spec. institutions of secondary vocational education. - 4th edition, spravl. - M.: Mashinostroenie, 2008. - 536s.
20. Shadrichev V.A. Fundamentals of technology of car construction and car repair. Uchbenik for universities. L., Mechanical Engineering, 2009. - 560s21.
- Malkin, V.S. Technical operation of cars: Theoretical and practical aspects: studies. manual for students. higher. studies. institutions / V.S. Malkin. - M. : Publishing center "Academy", 2007 - 288 p.
22. Karagodin, V. I. Repair of cars and engines: studies. manual for students. higher. studies. institutions / V. I. Karagodin, N.
23. GOST 5640-68 Steel. Metallographic method for assessing the microstructure of sheets and tape.
24. GOST 5639-82 Steels and alloys. Methods of detection and determination of grain size.
25. Electronic information directories.

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова Е.А. Тарасов*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*Н.М. Волков*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*Д.Н. Дегтев*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*С.А. Никитин*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*А.Н. Щиенко*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*А.А. Серов*

*Эксперт ООО Экспертное Учреждение  
“Региональный Центр Автотехнической  
Экспертизы” И.В. Жерносек*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29*

*e-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)*

*Voronezh State Technical University*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova E.A. Tarasov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova N.M. Volkov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova D.N. Degtev*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova S.A. Nikitin*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova A.N. Shchienko*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova A.A. Serov*

*Ekspert LLC Ekspertasutus "piirkondlik  
autotehnika Ekspertiisikeskus"*

*I. V. Zhernosek*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29*

*e-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)*

**Е.А. Тарасов, Н.М. Волков, Д.Н. Дегтев, С.А. Никитин,  
А.Н. Щиенко, А.А. Серов, И.В. Жерносек**

### **ПРИМЕР ИССЛЕДОВАНИЯ РУЛЕВОЙ РЕЙКИ АВТОМОБИЛЯ ШКОДА ОКТАВИЯ**

Исследование имело своей целью установление причин неисправности рулевой рейки автомобиля Шкода Октавия. Устанавливается причина возникновения выявленных неисправностей. Решается вопрос к какому типу дефектов производственному, эксплуатационному или последствиям некачественно выполненных ремонтных работ относятся выявленные неисправности исследуемой рулевой рейки.

**Ключевые слова:** рулевая рейка, автомобиль, неисправность, исследование.

E.A. Tarasov, N.M. Volkov, D.N. Degtev, S.A. Nikitin,  
A.N. Shchienko, A.A. Serov, I.V. Zhernosek

## AN EXAMPLE OF A STEERING RACK STUDY SKODA OCTAVIA CAR

The study was aimed at establishing the causes of the malfunction of the steering rack of the Skoda Octavia car. The cause of the identified malfunctions is established. The question is being solved to which type of defects production, operational or the consequences of poorly performed repairs include identified malfunctions of the steering rack under study.

**Keywords:** steering rack, car, malfunction, research.

### На разрешение экспертизы поставлены следующие вопросы:

1. Присутствуют ли в исследуемой рулевой рейке автомобиля Шкода Октавия VIN: XXXXXXXXXX неисправности (дефекты)? Если да, то какие?
2. Если неисправности имеются, то, к какому типу дефектов они относятся – производственному или эксплуатационному?

### Исходные данные

Владелец транспортного средства приобрел рулевую рейку в магазине XXXXXXXXXX и установил ее в сертифицированном сервисном центре. Ориентировочно через 100 км. эксплуатации транспортного средства Шкода Октавия VIN: XXXXXXXXXX при вращении рулевого колеса появились посторонние звуки.

## ===== ИССЛЕДОВАНИЕ =====

Экспертный осмотр исследуемого автомобиля и рулевой рейки проводился дважды. На обоих осмотрах присутствовали владелец автомобиля, а также представители магазина XXXXXXXXXX.

Электроусилителем рулевого управления называется конструктивный элемент рулевого управления автомобиля, в котором дополнительное усилие при повороте рулевого колеса создается с помощью электрического привода. В конструкции современного автомобиля электроусилитель рулевого управления постепенно заменяет гидроусилитель руля.

Основными преимуществами электроусилителя руля в сравнении с гидроусилителем рулевого управления являются:

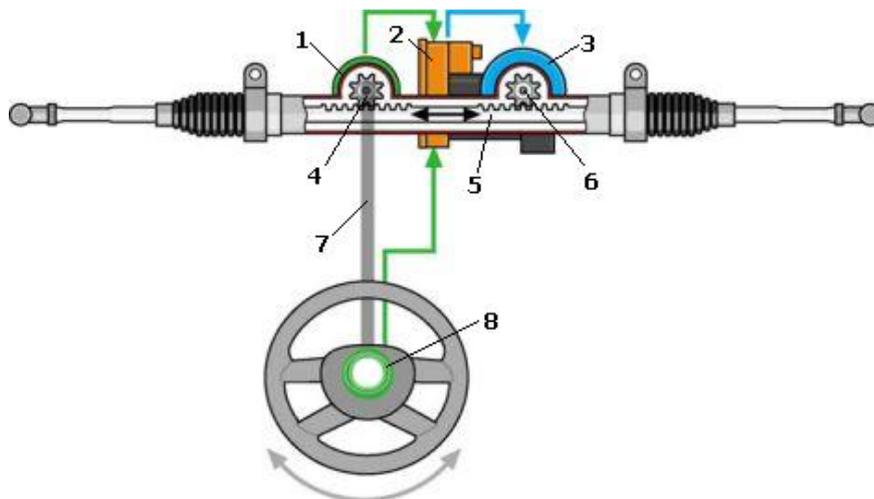
- удобство регулирования характеристик рулевого управления;
- высокая информативность рулевого управления;
- высокая надежность в связи с отсутствием гидравлической системы;
- топливная экономичность, обусловленная экономным расходом энергии (снижение расхода топлива до 0,5 л. на 100 км).

Электроусилитель рулевого управления открыл широкие возможности для создания различных систем активной безопасности: курсовой устойчивости, автоматической парковки, аварийного рулевого управления, помощи движению по полосе.

Различают две основных схемы компоновки электроусилителя рулевого управления:

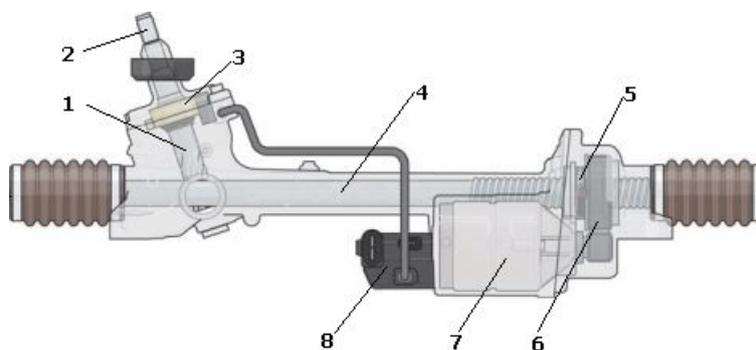
- усилие электродвигателя передается на вал рулевого колеса;
- усилие электродвигателя передается на рейку рулевого механизма.

Наиболее востребован электроусилитель с приводом на рулевую рейку. Другое его название - электромеханический усилитель рулевого управления. Известными конструкциями такого усилителя являются усилитель руля с двумя шестернями и усилитель руля с параллельным приводом.



**Рис. 1.** Схема электромеханического усилителя рулевого управления:

- 1 – датчик крутящего момента на рулевом колесе; 2 – электронный блок управления; 3 – электродвигатель;  
 4 – шестерня вала рулевого управления; 5 – зубчатая рейка; 6 – шестерня усилителя рулевой рейки;  
 7 – карданный вал рулевого управления; 8 – датчик угла поворота рулевого колеса



**Рис. 2.** Схема электромеханического усилителя рулевой рейки с параллельным приводом:

- 1 – вал-шестерня; 2 – торсионный стержень; 3 – датчик крутящего момента на рулевом колесе;  
 4 – зубчатая рейка; 5 – гайка на циркулирующих шариках; 6 – привод; 7 – электродвигатель;  
 8 – электронный блок управления

Электромеханический усилитель рулевого управления состоит из электродвигателя, механической передачи и системы управления.

Электроусилитель руля объединен с рулевым механизмом в одном блоке. В конструкции усилителя используется асинхронный электродвигатель.

Механическая передача обеспечивает передачу крутящего момента от электродвигателя к рейке рулевого механизма. В электроусилителе с двумя шестернями одна шестерня передает крутящий момент на рейку рулевого механизма от рулевого колеса, другая – от электродвигателя усилителя. Для этого на рейке предусмотрены два участка зубьев, один из которых служит приводом усилителя.

Система управления электроусилителем руля включает входные датчики, электронный блок управления и исполнительное устройство.

К входным датчикам относятся датчик угла поворота рулевого колеса и датчик крутящего момента на рулевом колесе. Система управления электроусилителем руля также использует информацию, поступающую от блока управления ABS (датчик скорости автомобиля) и блока управления двигателем (датчик частоты коленчатого вала двигателя).

Электронный блок управления обрабатывает сигналы датчиков. В соответствии с заложенной программой вырабатывается соответствующее управляющее воздействие на исполнительное устройство – электродвигатель усилителя.

Электроусилитель руля обеспечивает работу рулевого управления автомобиля в следующих режимах:

- поворот автомобиля в обычных условиях;
- поворот автомобиля на малой скорости;
- поворот автомобиля на большой скорости;
- активный возврат колес в среднее положение;
- поддержание среднего положения колес.

Поворот автомобиля осуществляется поворотом рулевого колеса. Крутящий момент от рулевого колеса передается через торсион на рулевой механизм. Закрутка торсиона измеряется датчиком крутящего момента, угол поворота рулевого колеса – датчиком угла поворота рулевого колеса. Информация от датчиков, а также информация о скорости автомобиля, частоте вращения коленчатого вала двигателя, передаются в электронный блок управления.

Блок управления рассчитывает необходимую величину крутящего момента электродвигателя усилителя и путем изменения величины силы тока обеспечивает ее на электродвигателе. Крутящий момент от электродвигателя передается на рейку рулевого механизма и далее, через рулевые тяги, на ведущие колеса.

Таким образом, поворот колес автомобиля осуществляется за счет объединения усилий, передаваемых от рулевого колеса и электродвигателя усилителя.

#### ----- Вопрос № 1 -----

По результатам проведенных экспертных осмотров и диалога с представителями сторон установлено следующее:

- идентификация транспортного средства и его идентификационные параметры и характеристики соответствуют данным регистрационных документов, предоставленных эксперту на осмотре;
- идентификационный номер (VIN) транспортного средства – XXXXXXXXXX;
- исследуемый автомобиль внешних механических повреждений не имеет и сохранил свой товарный вид;
- следов некачественного ремонта рулевого механизма исследуемого автомобиля не выявлено (фото 1, 2 фототаблицы);
- выявлен стук в области рулевой рейки при вращении рулевого колеса исследуемого автомобиля (при работающем и не работающем двигателе внутреннего сгорания);
- элементы подвески, рулевого управления, трансмиссии транспортного средства внешних механических повреждений не имеют;
- элементы подвески автомобиля находятся в технически исправном состоянии;
- повышенной свободной подвижности (люфт) в сопрягаемых с рулевой рейкой элементах (рулевых тягах, наконечниках и т.д.) не выявлено;
- при приложении усилия кисти руки к левой рулевой тяге и совершения рукой возвратно-поступательных движений, в рулевом механизме выявлена свободная подвижность (люфт);
- при приложении аналогичных по силе и направлению усилий с правой стороны рулевого механизма свободной подвижности не выявлено;
- электродвигатель исследуемой рулевой рейки следов механических повреждений, некачественного ремонта и постороннего вмешательства не имеет (фото 4 фототаблицы);
- на крышке упора рулевой рейки следов несанкционированного вмешательства не выявлено (фото 5 фототаблицы);

- гофрированные чехлы рулевой рейки надежно закреплены и механических повреждений не имеют (фото 6, 7 фототаблицы);
- радиальный зазор входного вала исследуемой рулевой рейки составляет – 0,40 мм. (фото 9, 10, 14 фототаблицы);
- радиальный зазор выходного вала электродвигателя исследуемой рулевой рейки составляет – 0,67 мм. (фото 12, 13 фототаблицы).

На основании всего вышесказанного можно сделать вывод, что в исследуемой рулевой рейке автомобиля Шкода Октавия VIN: XXXXXXXXXX присутствует неисправность в виде повышенного радиального зазора выходного вала электродвигателя, следствием чего является стук в рулевой рейке при вращении рулевого колеса исследуемого автомобиля (при работающем и не работающем двигателе внутреннего сгорания).

#### ----- Вопрос № 2 -----

Производственный недостаток – недостаток, заложенный на этапе конструирования или возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта АТС и приведший к нарушению его исправности или работоспособности [17].

Эксплуатационный недостаток – недостаток, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил или условий эксплуатации, и приведший к нарушению исправности или работоспособности АТС, а также к нарушению целостности лакокрасочного покрытия [17].

В рамках проведения экспертного осмотра исследуемого автомобиля Шкода Октавия VIN: XXXXXXXXXX нарушений условий эксплуатации транспортного средства выявлено не было. Оснований говорить о неправильной транспортировке и хранении автомобиля и запасных частей, в частности рулевой рейки, также нет, так как исследуемые компоненты автомобиля внешних механических повреждений не имеют. Следов некавалифицированного ремонта исследуемого автомобиля и рулевого механизма не обнаружено, следовательно, действия продавца и третьих лиц также не являются причиной возникновения обнаруженных неисправностей (дефектов).

На основании всего вышесказанного можно говорить, причиной возникновения обнаруженных недостатков (неисправностей) является производственный дефект исследуемой рулевой рейки.

#### ===== В Ы В О Д Ы =====

**По результатам проведенной экспертизы необходимо сделать следующие выводы:**

#### ----- Вопрос № 1 -----

В исследуемой рулевой рейке автомобиля Шкода Октавия VIN: XXXXXXXXXX присутствует неисправность в виде повышенного радиального зазора выходного вала электродвигателя, следствием чего является стук в рулевой рейке при вращении рулевого колеса исследуемого автомобиля (при работающем и не работающем двигателе внутреннего сгорания).

#### ----- Вопрос № 2 -----

Причиной возникновения обнаруженных недостатков (неисправностей) является производственный дефект исследуемой рулевой рейки.

## Библиографический список

1. О безопасности дорожного движения: Федеральный Закон от 10 декабря 1995 № 196-ФЗ [Текст] // Российская газ. – 1995. – 18.12. – С. 3.
2. О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации: Федеральный Закон от 31 мая 2001 № 73-ФЗ [Текст] // Российская газ. – 2001. – 05.06. – С. 3.
3. Правила дорожного движения Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 28 марта 2012 № 254 [Текст] // Российская газ. – 2012. – 05.04. – С. 2.
4. Об утверждении правил оказания услуг (выполнения работ) по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств: Постановление Правительства РФ от 11 апреля 2001 № 290 [Текст] // Российская газ. – 2001. – 13.05. – С. 2.
5. ГОСТ Р 52453-2005. Автомобильные транспортные средства. Механизмы рулевые с гидравлическим усилителем и рулевые гидроусилители. Технические требования и методы испытаний.
6. Беляева, Л. Д. Современные возможности экспертиз [Текст] : методическое пособие для экспертов, следователей и судей / Л. Д. Беляева, А. Ю. Бутырин, Ю. М. Воронков – М. : Триада-Х, 2000.
7. РД 37.009.025-92 Положение о гарантийном обслуживании легковых автомобилей и мототехники.
8. Кузнецов, А. С. Слесарь по ремонту автомобилей (моторист) [Текст] : учеб. пособие для нач. проф. образования / А.С. Кузнецов. 6-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2011 – 304 с.
9. Березин, С.В. Справочник автомеханика [Текст] / С. В. Березин. – М. : Феникс 2008 – 346 с.
10. Технология производства и ремонта автомобилей : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений [Текст] / В. К. Ярошевич, А. С. Савич, В. П. Иванов. – Минск. : Адукацыя і выхаванне, 2008 – 640 с.
11. Малкин, В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.С. Малкин. – М. : Издательский центр «Академия», 2007 – 288 с.
12. ГОСТ Р 51709-2001. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки.
13. Демокритов В.Н. и др. Основы проектирования машин. [Текст] / : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 236 с.
14. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] / В 3-х т. Т.2 - 9-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И. Н. Жестковой. – М. : Машиностроение, 2006. – 960 с.
15. Федотов А.И., Зарщиков А.М. Конструкция, расчет и потребительские свойства автомобилей [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений под общей редакцией Федотова А. И. – Иркутск, 2007. – 334 с.
16. Основные положения по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения: Постановление Правительства РФ от 23 октября 1993 № 1090 [Текст] // Российская газ. – 1993. – 06.11. – С. 3.
17. Замиховский, М. И. Исследование недостатков автомобилей, находящихся в эксплуатации [Текст] : методическое пособие для экспертов и судей / М. И. Замиховский, А. В. Рузский, Ю. М. Воронков – М. : ИПК РФЦСЭ, 2006.
18. ГОСТ 15467-79. «Управление качеством продукции. Основные понятия, требования и определения» (понятия - производственный явный, скрытый устранимый и неустранимый дефект).
19. Евтюков С.А., Гальцев Ю.В., Колкутин В.В., Рябинин Г.А., Метрологический справочник для судебных экспертов и адвокатов, С-Пб, «ДНК», 2007 г.

## References

1. On Road Safety: Federal Law No. 196-FZ of December 10, 1995 [Text] // Russian Gas. - 1995. - 18.12. - p. 3.
2. On State Forensic expert activity in the Russian Federation: Federal Law No. 73-FZ of May 31, 2001 [Text] // Russian gas. - 2001. - 05.06. - p. 3.
3. Rules of the road of the Russian Federation: Resolution of the Government of the Russian Federation of March 28, 2012 No. 254 [Text] // Russian gas. - 2012. - 05.04. - p. 2.
4. On the approval of the rules for the provision of services (performance of works) on maintenance and repair of motor vehicles: Decree of the Government of the Russian Federation No. 290 dated April 11, 2001 [Text] // Russian gas. - 2001. - 13.05. - p. 2.
5. GOST R 52453-2005. Motor vehicles. Steering mechanisms with hydraulic power and power steering. Technical requirements and test methods.
6. Belyaeva, L. D. Modern possibilities of expertise [Text] : a methodological guide for experts, investigators and judges / L. D. Belyaeva, A. Y. Butyrin, Y. M. Voronkov - M. : Triad-X, 2000.
7. RD 37.009.025-92 Regulations on warranty service of passenger cars and motorcycles.
8. Kuznetsov, A. S. Car repair mechanic (motorist) [Text] : studies. manual for the beginning of Prof. education / A.S. Kuznetsov. 6th ed., ster. - M. : Publishing Center "Academy", 2011 - 304 p.
9. Berezin, S.V. Handbook of automechanics [Text] / S. V. Berezin. - M. : Phoenix 2008 - 346 p.
10. Technology of production and repair of cars: studies. manual for students. higher. studies. establishments [Text] / V. K. Yaroshevich, A. S. Savich, V. P. Ivanov. - Minsk. : Adukatsia i vykhavanne, 2008 - 640 p.
11. Malkin, V.S. Technical operation of cars: Theoretical and practical aspects [Text] : textbook. manual for students. higher. studies. institutions / V.S. Malkin. - M. : Publishing center "Academy", 2007 - 288 p.
12. GOST R 51709-2001. Motor vehicles. Safety requirements for technical condition and verification methods.
13. Demokritov V.N. et al. Fundamentals of machine design. [Text] / : studies. manual for students. higher. studies. institutions / Ulyanovsk: UISTU, 2007– - 236 p.
14. Anuryev V.I. Handbook of a machine-building designer [Text] / In 3 vols. Vol. 2 - 9th ed., reprint. and additional / Edited by I. N. Zhestkova. - M. : Mashinostroenie, 2006– - 960 p.
15. Fedotov A.I., Zarshchikov A.M. Design, calculation and consumer properties of cars [Text] : textbook. manual for students. higher. studies. institutions under the general editorship of Fedotov A. I. - Irkutsk, 2007– - 334 p.
16. The main provisions on the admission of vehicles to operation and the duties of officials to ensure road safety: Resolution of the Government of the Russian Federation of October 23, 1993 No. 1090 [Text] // Russian gas. - 1993. - 06.11. - p. 3.
17. Zamikhovsky, M. I. Investigation of the shortcomings of cars in operation [Text] : a methodological guide for experts and judges / M. I. Zamikhovsky, A.V. Ruzsky, Yu. M. Voronkov - M. : IPK RFTSSE, 2006.
18. GOST 15467-79. "Product quality management. Basic concepts, requirements and definitions" (concepts - production explicit, hidden removable and permanent defect).
19. Evtyukov S.A., Galtsev Yu.V., Kolkutin V.V., Ryabinin G.A., Metrological handbook for forensic experts and lawyers, S-Pb, "DNA", 2007.

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова Е.А. Тарасов*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*Н.М. Волков*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*Д.Н. Дегтев*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*С.А. Никитин*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*А.Н. Щиенко*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*А.А. Серов*

*Эксперт ООО Экспертное Учреждение  
“Региональный Центр Автотехнической  
Экспертизы” И.В. Жерносек*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29*

*e-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)*

*Voronezh State Technical University*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova E.A. Tarasov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova N.M. Volkov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova D.N. Degtev*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova S.A. Nikitin*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova A.N. Shchienko*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova A.A. Serov*

*Ekspert LLC Ekspertasutus "piirkondlik  
autotehnika Ekspertiisikeskus"*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29*

*e-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)*

*Е.А. Тарасов, Н.М. Волков, Д.Н. Дегтев, С.А. Никитин,  
А.Н. Щиенко, А.А. Серов, И.В. Жерносек*

## **ПРИМЕР ИССЛЕДОВАНИЯ РЕДУКТОРА ЗАДНЕГО МОСТА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА MITSUBISHI PAJERO SPORT**

Исследование имело своей целью установление причин неисправности редуктора заднего моста автомобиля Mitsubishi Pajero Sport. Устанавливается причина возникновения выявленных неисправностей. Решается вопрос к какому типу дефектов производственному, эксплуатационному или последствиям некачественно выполненных ремонтных работ относятся выявленные неисправности исследуемого редуктора заднего моста.

**Ключевые слова:** редуктор заднего моста, автомобиль, неисправность, исследование.

E.A. Tarasov, N.M. Volkov, D.N. Degtev, S.A. Nikitin,  
A.N. Shchienko, A.A. Serov, I.V. Zhernosek

## EXAMPLE OF A REAR AXLE GEARBOX STUDY MITSUBISHI PAJERO SPORT VEHICLES

The study was aimed at establishing the causes of the malfunction of the gearbox of the rear axle of the Mitsubishi Pajero Sport car. The cause of the identified malfunctions is established. The question is being solved to which type of defects production, operational or the consequences of poorly performed repair work relate to the identified malfunctions of the studied rear axle gearbox.

**Keywords:** rear axle gearbox, car, malfunction, research.

### На разрешение специалисту поставлены следующие вопросы:

1. Имеет ли транспортное средство Mitsubishi Pajero Sport (VIN) xxxxxxxx гос. рег. знак xxxxxxxx 198 неисправности редуктора заднего моста? Если да, то какие?
2. Если неисправности присутствуют, то в чем причина возникновения выявленных неисправностей?
3. К какому типу дефектов производственному, эксплуатационному или последствиям некачественно выполненных ремонтных работ относятся выявленные неисправности?

**Исходные данные:** Представитель xxxxxxxx в ходе эксплуатации автомобиля Mitsubishi Pajero Sport (VIN) xxxxxxxx гос. рег. знак xxxxxxxx произвела плановое техническое обслуживание в ИП xxxxxxxx Р.А. с заменой масла в двигателе и элементах трансмиссии о чем свидетельствует Акт об оказании услуг № 4359 от 30 декабря 2020 года. После проведенных работ и выезда представителя на автомобиле в г. Ростов-на-Дону, 03.01.2021г. со стороны трансмиссии стали прослушиваться посторонние звуки, автомобиль был доставлен в сервисный центр ООО «xxxxxxx» в г. Ростов-на-Дону в ходе проведения диагностических работ было установлено, что отсутствует контрольная пробка в редукторе заднего моста и присутствуют следы течи масла со стороны расположения контрольной пробки, о чем свидетельствует Заказ-наряд 270008542-1 от 03.01.2021г. и Акт осмотра автотранспортного средства от 03 января 2021 г. Сотрудниками сервисного центра ООО «xxxxxxx» была выполнена процедура установки временной пробки в контрольное отверстие заднего редуктора, выполнен залив масла в редуктор о чем свидетельствует Заказ-наряд № 270008546-1 от 03.01.2021. Далее произведена тестовая поездка, в результате которой посторонний звук со стороны редуктора не прекратился. Дальнейшие действия по разборке производились в присутствии представителя экспертной организации в сервисном центре ООО «xxxxxxx».

### ===== ИССЛЕДОВАНИЕ =====

Экспертный осмотр исследуемого объекта проводился 27 января 2021 года по адресу город xxxxxxxx, ул. xxxxxxxx. На осмотре присутствовали со стороны заказчика представители отсутствовали, со стороны ООО «xxxxxxx», xxxxxxxx Андрей Викторович, со стороны ООО «xxxxxxx», представитель xxxxxxxx Андрей Валентинович, со стороны ИП xxxxxxxx Р.А. представители отсутствовали. Представители всех сторон были уведомлены о предстоящем экспертном осмотре должным образом. Осмотр проводился при естественном и искусственном электрическом освещении, невооруженным глазом. При проведении исследования применялись: органолептический, инструментальный и экспертный методы. Съемка проводилась с помощью цифрового фотоаппарата «SONY DSC-W210».

**Описание исследуемого объекта:** Mitsubishi Pajero Sport - семейство внедорожных автомобилей рамного типа, выпускающихся с 1996. На данный момент осуществляется выпуск уже третьего поколения этих автомобилей. Автомобиль оснащался бензиновым двигателем V6 6B31 объемом 3,0 литра и мощностью 209 л.с. (279 Нм), работающим с 8-ступенчатым «автоматом» Aisin и трансмиссией Super Select II. Дизельная версия оснащена 2,4-литровым 4-цилиндровым двигателем 4N15, располагающим мощностью в 181 л.с. (430 Нм). Данная версия помимо 8-ступенчатого «автомата» может быть оснащена 6-ступенчатой механической КПП, время разгона до «сотни» составит 12,3 и 11,4 секунды. Максимальная скорость — 180 км/ч, средний расход топлива — 8 л/100 км (7,4 л с МКПП). Объем топливного бака — 70 литров.

### ----- Вопрос № 1 -----

В результате экспертного осмотра объекта исследования установлено следующее: идентификация исследуемого объекта и его идентификационные параметры и характеристики соответствуют данным регистрационных документов, предоставленных специалисту в рамках проведения экспертного осмотра. Для проведения настоящего исследования автомобиль был спозиционирован на подъемнике сервисного центра ООО «xxxxxxx» (фото 1...3 фототаблицы);

- пробег исследуемого транспортного средства определялся по одометру и на момент проведения осмотра составил 70823 км. (фото 4 фототаблицы);

- в ходе проведения осмотра моторного отсека установлено, что он комплектен и соответствует комплектации завода изготовителя, на задней части редуктора сзади автомобиля наблюдаются следы маслянистых загрязнений (фото 5...6 фототаблицы);

- при проведении подъема и осмотра автомобиля снизу установлено, что на деталях редуктора заднего моста присутствуют следы течи масла и следы его разбрызгивания по внешним деталям моста (фото 7...8 фототаблицы);

- крепежные элементы редуктора не имеют следов воздействия слесарного инструмента и следов откручивания или демонтажа (фото 9...10 фототаблицы);

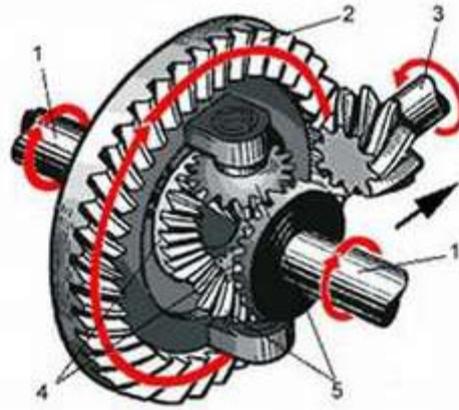
- со стороны контрольной пробки и установленной в ней заглушки в корпусе заднего редуктора наблюдаются следы обильной течи масла с образованием подтеков по корпусу редуктора (фото 11 фототаблицы);

- флянец ведущей шестерни редуктора имеет следы выхода из посадочного места с образованием зазора и повышенного люфта в месте сопряжения с редуктором (фото 12 фототаблицы).

Задача редуктора – снижать скорость вращения выходных валов по отношению к входному. Редуктор, преобразующий высокую угловую скорость входного вала в более низкую, обычно называют демумльтипликатором. Для передачи крутящего момента с ведущего вала на расположенные под прямым углом к нему ведомые валы применяются шестерни, или, иначе, зубчатые колеса. Поскольку валы находятся под разными углами, зубья шестерен имеют специфическую форму - такие шестерни называются коническими.

Применение конических шестерен обусловлено не только необходимостью передавать вращение, но и тем, что зубчатые колеса этого типа издают при работе меньше шума, а это важно для обеспечения комфорта в небольшом легковом автомобиле.

Чтобы редуктор действительно был механизмом, понижающим скорость вращения, необходимо, чтобы ведущее зубчатое колесо отличалось по размеру от ведомых. Если это правило соблюдено, на один полный оборот входящего вала приходится неполный оборот или несколько оборотов ведомого вала – таким образом скорость вращения редуцируется, то есть снижается. В некоторых автомобилях требуется очень существенное понижение скорости вращения - к примеру, в вездеходах, которые в некоторых ситуациях передвигаются очень медленно, чтобы не застрять.



**Рис.** Главная передача с дифференциалом:

1 – полуоси; 2 – ведомая шестерня; 3 – ведущая шестерня; 4 – шестерня полуосей; 5 – шестерни-сателлиты

Редукторы заднего моста классифицируют по так называемому передаточному числу. Передаточное число - это отношение угловой скорости ведущего вала к угловой скорости ведомых валов. На практике важно знать только одно: чем выше передаточное число редуктора, тем больше грузоподъемность автомобиля. Соответственно, чем ниже передаточное число, тем автомобиль будет ехать быстрее.

Далее произведен демонтаж сливной пробки и заглушки контрольной пробки с корпуса моста после чего установлено, что в корпусе заднего редуктора присутствует только остаточное количество масла (фото 13...14 фототаблицы);

- на магнитной части сливной пробки выявлены обильные следы присутствия загрязнений и продуктов аварийного износа (фото 15...16 фототаблицы);
- кольцо сливной пробки имеет следы неоднократного «обжатия» что указывает на неоднократное его использование (фото 17...18 фототаблицы).

Для проведения дальнейшего исследования был произведен демонтаж заднего редуктора и произведен его осмотр в ходе которого, установлено что все внутренние детали редуктора имеют следы образования перегрева металла характеризующиеся сизым оттенком на деталях с образованием следов побежалости на металле (фото 19 фототаблицы);

- подшипник ведущей шестерни имеет следы разрушения и заклинивания со следами перегрева материала, в нижней части корпуса в области расположения ведущей шестерни присутствуют остатки продуктов разрушения редуктора (фото 20...21 фототаблицы);
- шестерни-сателлиты и корпус сателлитов имеют следы образования перегрева металла с образованием его потемнения и следов побежалости как на шестернях сателлитов так и на деталях корпуса сателлитов (фото 22 фототаблицы);
- рабочая поверхность зубьев ведомой шестерни имеет следы образования потемнения металла в виде отчетливого сизого оттенка, что так же указывает на перегрев (фото 23 фототаблицы).

Далее был произведен осмотр внутренней части корпуса редуктора, в ходе проведения которого установлено, что остатки масла в корпусе редуктора имеют резкий запах гари и присутствие остатков продуктов аварийного износа (фото 24...25 фототаблицы);

- в ходе проверки извлеченного из полости редуктора остатков масла тестом «на просвет» выявлены следы потемнения масла и следы присутствия продуктов аварийного износа в виде мелкой металлической стружки в остатках масла (фото 26 фототаблицы).

Аварийный износ – вид износа, после достижения которого, начинается катастрофически быстрое его нарастание.

При проведении дальнейшего исследования и осмотра редуктора переднего моста, установлено, что крепежные элементы переднего редуктора не имеют следов демонтажа и применения слесарного инструмента (фото 27 фототаблицы);

- в местах расположения сливной и контрольной пробок присутствуют следы маслянистых загрязнений, покрытых эксплуатационными загрязнениями, которые в свою очередь указывают на присутствующие следы производимо замены масла и дальнейшей непродолжительной эксплуатации (фото 28...29 фототаблицы);

- при проведении проверки уровня масла в переднем редукторе был произведен демонтаж контрольной пробки. После чего начался выход части масла, что указывает на достаточное его количество в переднем редукторе (фото 30 фототаблицы);

- осмотр контрольной пробки переднего моста не выявил следов нарушения или «обрыва» резьбового участка болта, но выявил следы неоднократного «обжатия» уплотнительного кольца изготовленного из мягкого металла. Данное обжатие отчетливо наблюдается при сравнении уплотнительного кольца контрольной пробки переднего моста с кольцом, не подлежащим установке (фото 31...33 фототаблицы);

- для применения методики сравнения была произведена установка без зажатия контрольной пробки в редуктор заднего моста, в ходе проведения которой получен вывод по идентичности резьбы контрольных пробок переднего и заднего моста (фото 34 фототаблицы).

На основании проведенного выше исследования можно сделать вывод: транспортное средство Mitsubishi Pajero Sport (VIN) xxxxxxxx гос. рег. знак xxxxxxxx 198 имеет неисправности редуктора заднего моста в виде следов перегрева всех подвижных деталей редуктора характеризующихся следами потемнения на металле, разрушением подшипника ведущей шестерни с образованием продуктов аварийного износа и продуктов разрушения в виде металлической стружки, остатки масла в редукторе имеют следы резкого запаха гари, следы присутствия потемнения масла и следы присутствия в масле продуктов аварийного износа в виде металлической стружки.

## ----- Вопрос № 2 -----

Для ответа на поставленный вопрос необходимо обратиться к пособию [20] из которого установим, что техническое обслуживание заднего моста заключается в основном в проверке уровня масла и, его замене. Согласно руководству по эксплуатации замена масла в заднем и переднем дифференциале, производится каждое четвертое техническое обслуживание. Согласно технической документации, объем масла в редукторе заднего моста исследуемого автомобиля оставляет 2,1 л. При замене масла производится обязательная замена одноразовых уплотнительных колец сливной и контрольной пробок.

По условию работы редуктора, смазывание его вращающихся деталей обеспечивается разбрызгиванием, после чего моторное масло стекает в картер (корпус) моста, получается замкнутая система. В случае если вышеизложенные условия смазки элементов редуктора нарушены, возникает «масляное голодание». Под последним понимается отсутствие смазки в корпусе редуктора. В результате этого к деталям и элементам редуктора поступает недостаточное количество масла, что существенно увеличивает трение и температуру трущихся сопряжений. При «масляном голодании» все элементы редуктора подвержены высокому износу, что впоследствии, под действием чрезвычайно высоких температур, может привести к заклиниванию и полному разрушению деталей.

Из описанного выше и проведенного в первом вопросе исследования следует, что детали редуктора заднего моста имеют следы перегрева всех подвижных деталей, характеризующихся следами потемнения на металле, разрушением подшипника ведущей шестерни с образованием продуктов аварийного износа и продуктов разрушения в виде металлической стружки, остатки масла в редукторе имеют следы резкого запаха гари, следы присутствия потемнения масла и следы присутствия в масле продуктов аварийного износа в виде металлической стружки (фото с 19 по 26 фототаблицы). Все это позволяет утверждать, что иссле-

дуемый редуктор работал именно в режиме недостаточного количества смазки или «масляного голодания».

Для дальнейшего исследования специалистом применялись методы цифровой микроскопии с использованием портативного цифрового микроскопа с возможностью увеличения до 200X, производился металлургический анализ резьбового соединения контрольной пробки в корпусе заднего моста и уплотнительных колец пробок переднего и заднего мостов.

- при проведении исследования резьбового соединения контрольной пробки в корпусе редуктора заднего моста, данное резьбовое соединение имеет внутреннюю конструкцию, на данном резьбовом соединении выявлены следы выгиба части витков, следовая обстановка на части витков указывает на двукратное вытягивание резьбового соединения что соответствует двукратному обжатию, в следствии установки болтового соединения (фото 35...36 фототаблицы);

- в ходе исследования рабочей поверхности уплотнительного кольца контрольной пробки переднего моста и сливной пробки заднего моста, с применением цифрового микроскопа, выявлены следы двукратного обжатия на материале кольца, и следы эрозии материала до повторного зажатия, что указывает на повторное использование колец (фото 37...38 фототаблицы).

Эрозия происходит от механического воздействия на поверхность металла быстродвижущихся частиц жидкостей, песчинок твердых тел, взвесей, газовых пузырьков и т. п. Интенсивность эрозионного разрушения зависит от однородности структуры и твердости металла. Для увеличения эрозионной стойкости в металл корпуса вводят легирующие компоненты, повышающие его прочность и антикоррозионную стойкость, производят поверхностное упрочение, закалку и проводят другие мероприятия.

Из всего сказанного выше можно сделать следующие промежуточные выводы:

1. следовая обстановка на части витков резьбы в корпусе моста, указывает на двукратное вытягивание резьбового соединения что соответствует двукратному обжатию.

2. на рабочей поверхности уплотнительного кольца контрольной пробки переднего моста и сливной пробки заднего моста выявлены следы двукратного обжатия на материале кольца, и следы эрозии материала до повторного зажатия, что указывает на повторное использование колец.

3. Пластические деформации, выявленные, например, на деталях корпуса редуктора носят вторичный характер и образованы от попадания продуктов аварийного износа и металлической стружки в зону данных деталей.

Проведенное выше исследование указывает, что уплотнительные кольца, которые подвержены обязательной замене, использовались двукратно. Резьбовое соединение контрольной пробки имеет следы двукратного обжатия вместо необходимого трехкратного обжатия.

Уплотнительное кольцо изготовленное из мягкого металла при зажатии пробки создает «натяг» резьбового соединения тем самым препятствуя его самопроизвольному откручиванию, в следствии воздействия вибраций и сил давления внутри редуктора при движении. Повторное использование уплотнительного кольца не позволяет создать необходимого «натяга» при зажатии пробки что может привести к ослаблению момента её закручивания.

В данном исследуемом случае неисправность развивалась следующим образом: незатянутая пробка с повторно установленным уплотнительным кольцом в процессе эксплуатации подверглась воздействию вибрационным нагрузкам и нагрузкам в виде давления масла и воздуха изнутри корпуса редуктора при вращении деталей, в результате чего, в совокупности с движением по трассе исследуемого автомобиля произошло откручивание пробки и выход масла что и привело к возникновению выявленной неисправности.

Принимая во внимание все вышесказанное, можно утверждать, что причиной возникновения выявленных неисправностей является откручивание контрольной пробки редуктора заднего моста и полный выход масла редуктора заднего моста, в результате чего произошло нарушение условий смазки элементов редуктор, что в свою очередь и привело к возникновению выявленных неисправностей.

### ----- Вопрос № 3 -----

Для ответа на поставленный вопрос необходимо обратиться к рекомендациям [14] согласно которых существуют определения недостатков:

Дефекты эксплуатационного характера - обусловлены нарушением правил эксплуатации изделия, условий хранения и транспортировки, интенсивным использованием изделия, естественным износом. К данным дефектам относятся механические повреждения в виде трещин, сколов, царапин, пластических деформаций и разрыва материала, коррозия, оплавление, окалины и т.д. Дефекты из-за нарушения правил эксплуатации изделия возникают из-за его использования не по функциональному назначению, нарушения процедур предварительной подготовки или работы промышленного оборудования, использования несоответствующих вспомогательных инструментов, оснастки и расходных материалов, интенсивном использовании оборудования при превышении его допустимой календарной производительности, несоблюдения условий внешней среды при функционировании оборудования, воздействия агрессивных сред.

Дефекты вследствие естественного износа могут проявляться в виде износа основных деталей в результате трения, коробления ответственных деталей из-за перераспределения внутренних напряжений в процессе эксплуатации, коррозии, старения пластмасс, резины, рабочей жидкости, смазочных масел, электронной аппаратуры и др. Дефекты вследствие естественного износа возникают в результате медленно протекающих процессов, которые приводят к прогрессивному ухудшению технических характеристик изделий производственно-технического назначения, называемому физическим старением.

Производственные дефекты - обусловлены неоптимальным выбором структуры изделия, ошибками в выборе конструктивных форм и размеров деталей, ошибками в выборе материалов деталей и подборе комплектующих элементов, заданием ошибочных требований к качеству изготовления узлов и деталей, неполным или некачественным проведением всех расчетов, необходимых для определения требований к конструктивным единицам изделия с учетом действующих нагрузок и подтверждения надежности изделия.

Для полного и всестороннего ответа на поставленный вопрос необходимо обратиться к обстоятельствам произошедшего, из которых установим, что в ходе проведения регламентных работ в ИП xxxxxxx Р.А. с заменой масла в двигателе и элементах трансмиссии отраженных в акте об оказании услуг № 4359 от 30 декабря 2020 года. Указаны работы по замене масла в переднем и заднем дифференциале (поз. 6 и 7 акта), при этом детали с каталожным номером MB001294 в перечне используемых деталей отсутствуют, что позволяет сделать вывод о том, что обязательная замена уплотнительных колец, при проведении работ в ИП xxxxxxx Р.А. согласно акта об оказании услуг № 4359 от 30 декабря 2020 года, не производилось.

Обращаясь к заказ-наряду № 270008546-1 от 03.01.2021 в котором выполнены работы по заливке масла в задний редуктор, установим, что детали с каталожным номером MB001294 в перечне используемых деталей присутствуют что указывает на проведение их замены.

Согласно заказ-наряду 270008542-1 от 03.01.2021г. и акта осмотра автотранспортного средства от 03 января 2021 г., на исследуемом автомобиле была выявлена отсутствующая контрольная-заливная пробка заднего редуктора.

Сопоставив результаты проведенного исследования и обстоятельства произошедшего можно установить, что пробка, установленная у ИП xxxxxxx Р.А. согласно акта об оказании услуг № 4359 от 30 декабря 2020 года утрачена, согласно проведенного выше исследования причиной откручивания контрольной пробки явилось либо незамененные уплотнительные кольца подлежащие обязательной замене либо незатянутая контрольная-заливная пробка заднего редуктора, рассмотрим данные версии в порядке их выдвижения.

В ходе проведения настоящего исследования установлено, что резьбовое соединение контрольной пробки на редукторе заднего моста имеет следы выгиба части витков, следовая обстановка на части витков указывает на двукратное вытягивание резьбового соединения что соответствует двукратному обжатию и указывает на тот фактор что по резьбовому соединению в редукторе, пробку затягивали два раза, при необходимом количестве, с учетом всех проведенных работ в три раза. Установить более точную причину без исследования самой открутившейся пробки не представляется возможным.

Уплотнительные кольца подлежат только однократному обжатию и при повторном закручивании не могут обеспечить необходимый момент затяжки и при эксплуатационных вибрациях могут открутиться, в связи с чем и предусмотрена их замена при каждом откручивании пробок по регламенту завода изготовителя.

На основании всего описанного выше можно сделать вывод: выявленные неисправности относятся к последствиям некачественно выполненных ремонтных работ.

## ===== В Ы В О Д Ы =====

**По результатам проведенной экспертизы необходимо сделать следующий вывод:**

### ----- Вопрос № 1 -----

Транспортное средство Mitsubishi Pajero Sport (VIN) xxxxxxxx гос. рег. знак xxxxxxxx 198 имеет неисправности редуктора заднего моста в виде следов перегрева всех подвижных деталей редуктора характеризующихся следами потемнения на металле, разрушением подшипника ведущей шестерни с образованием продуктов аварийного износа и продуктов разрушения в виде металлической стружки, остатки масла в редукторе имеют следы резкого запаха гари, следы присутствия потемнения масла и следы присутствия в масле продуктов аварийного износа в виде металлической стружки.

### ----- Вопрос № 2 -----

Причиной возникновения выявленных неисправностей является откручивание контрольной пробки редуктора заднего моста и полный выход масла редуктора заднего моста, в результате чего произошло нарушение условий смазки элементов редуктор, что в свою очередь и привело к возникновению выявленных неисправностей.

### ----- Вопрос № 3 -----

Выявленные неисправности относятся к последствиям некачественно выполненных ремонтных работ.

### Библиографический список

1. О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации: Федеральный Закон от 31 мая 2001 № 73-ФЗ / Российская газ. – 2001. – 05.06. – С. 3.
2. Об организации независимой технической экспертизы транспортных средств: Постановление Правительства РФ от 24 апреля 2003 № 238 / Российская газ. – 2003. – 30.04. – С.4.
3. Об утверждении правил оказания услуг (выполнения работ) по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств: Постановление Правительства РФ от 11 апреля 2001 № 290 / Российская газ. – 2001. – 13.05. – С. 2.
4. Беляева, Л. Д. Современные возможности экспертиз : методическое пособие для экспертов, следователей и судей / Л. Д.Беляева, А. Ю. Бутырин, Ю. М. Воронков – М. : Триада-Х, 2000.
5. РД 37.009.025-92 Положение о гарантийном обслуживании легковых автомобилей и мототехники.
6. Кузнецов, А. С. Слесарь по ремонту автомобилей : учеб. пособие для нач. проф. образования / А.С. Кузнецов. 6-е изд.,стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2011 – 304 с.
7. Березин, С.В. Справочник автомеханика / С. В. Березин. – М. : Феникс 2008 – 346 с.
8. Технология производства и ремонта автомобилей : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Ярошевич, А. С. Савич, В. П. Иванов. – Минск. : Адукацыя і выхаванне, 2008 – 640 с.

9. Малкин, В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.С. Малкин. – М. : Издательский центр «Академия», 2007 – 288 с.
10. Демокритов В.Н. и др. Основы проектирования машин. : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 236 С.
11. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В 3-х т. Т.2 - 9-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И. Н. Жестковой. – М. : Машиностроение, 2006. – 960 с.
12. Федотов А.И., Зарщиков А.М. Конструкция, расчет и потребительские свойства автомобилей: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений под общей редакцией Федотова А. И. – Иркутск, 2007. – 334 с.
13. Основные положения по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения: Постановление Правительства РФ от 23 октября 1993 №1090 / Российская газ. – 1993. – 06.11. – С. 3.
14. Замиховский, М. И. Исследование недостатков автомобилей, находящихся в эксплуатации : методическое пособие для экспертов и судей / М. И. Замиховский, А. В. Рузский, Ю. М. Воронков – М. : ИПК РФЦСЭ, 2006.
15. ГОСТ 15467-79. «Управление качеством продукции. Основные понятия, требования и определения» (понятия – производственный явный, скрытый устранимый и неустранимый дефект).
16. Евтюков С.А., Гальцев Ю.В., Колкутин В.В., Рябинин Г.А., Метрологический справочник для судебных экспертов и адвокатов, С-Пб, «ДНК», 2007 г.
17. Малкин, В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.С. Малкин. – М. : Издательский центр «Академия», 2007 – 288 с.
18. ГОСТ 5640-68 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты.
19. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.
20. Синельников А.Ф. Методические указания по ремонту блоков и гильз цилиндров механической обработкой: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)/ кафедра производства и ремонта автомобилей и дорожных машин / А.Ф. Синельников, А.Ю. Коноплин – М. : МАДИ 2014 – С. 41.
21. Карагодин, В. И. Ремонт автомобилей и двигателей: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. И. Карагодин, Н.
22. Вахламов В.К., Шатров М.Г., Юрчевский А.А., Автомобили. Теория и конструкция автомобиля. – М: «Академия», 2003. с. 531.
23. Стуканов В.А., Леонтьев К.Н. Устройство Автомобилей. – М.: ФОРУМ – ИНФРА-М, 2006. с. 372.
24. Руктешель О.С., Дыко Г.А., Молибошко Л.А., Якутович С.Г. Конструкция автомобилей. Трансмиссия., учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений специальности 1-370102 «Автомобилестроение».

#### References

1. On state forensic activities in the Russian Federation: Federal Law of may 31, 2001 No. 73-FZ / Russian gas. – 2001. – 05.06. – P. 3.
2. About the organization of an independent technical examination of vehicles In the formation of the government of the Russian Federation dated 24 April 2003 No. 238 / Russian gas. – 2003. – 30.04. – S. 4.
3. On approval of the rules for the provision of services (performance of works) on maintenance and repair of motor vehicles: Decree of the Government of the Russian Federation No. 290 of April 11, 2001 / Russian Gas. - 2001. - 13.05. - p. 2.
4. Belyaeva, L. D. Modern possibilities of expertise : a methodological guide for experts, investigators and judges / L. D.Belyaeva, A. Y. Butyrin, Y. M. Voronkov - M. : Tri-ada-X, 2000.

5. RD 37.009.025-92 Regulations on warranty service of passenger cars and motorcycles.
6. Kuznetsov, A. S. Car repair mechanic : textbook. manual for the beginning of professional education / A.S. Kuznetsov. 6th ed., ster. - M. : Publishing Center "Academy", 2011 - 304 p
7. Berezin, S.V. Handbook of automechanics / S. V. Berezin. - M. : Phoenix 2008 - 346 p.
8. Technology of production and repair of cars : studies. manual for students. higher. studies. institutions / V. K. Yaroshevich, A. S. Savich, V. P. Ivanov. - Minsk. : Adukatsia i vykhavan-ne, 2008 - 640 p.
9. Malkin, V.S. Technical operation of cars: Theoretical and practical aspects : textbook. manual for students. higher. studies. institutions / V.S. Malkin. - M. : Publishing center "Academy", 2007 - 288 p.
10. Demokritov V.N. et al. Fundamentals of machine design. : studies. manual for students. higher. studies. institutions / Ulyanovsk: UISTU, 2007– - 236 P.
11. Anuryev V.I. Handbook of a machine-building designer / In 3 vols. Vol. 2 - 9th ed., reprint. and additional / Edited by I. N. Zhestkova. - M. : Mashinostroenie, 2006– - 960 p.
12. Fedotov A.I., Zarshchikov A.M. Design, calculation and consumer properties of cars: textbook. manual for students. higher. studies. institutions under the general editorship of Fedotov A. I. - Irkutsk, 2007– - 334 p.
13. Main provisions for the admission of vehicles to operate and duties of officials to ensure road safety: the RF Government Decree of October 23, 1993, No. 1090 / Russian gas. – 1993. – 06.11. – P. 3.
14. Zamikhovskiy, M. I. a study of the shortcomings of the vehicles in operation : a manual for experts and judges / M. I. Zamikhovskiy, A. V. Ruzsky, J. M. Voronkov, M. : IPK center of forensic expertise, 2006.
15. GOST 15467-79. "Product quality management. Basic concepts, requirements and definitions" (concepts – manufacturing explicit, hidden, removable and irremediable defect).
16. Evtyukov S.A., Galtsev Yu.V., Kolkutin V.V., Ryabinin G.A., Metrological handbook for forensic experts and lawyers, S-Pb, "DNA", 2007.
17. Malkin, V.S. Technical operation of cars: Theoretical and practical aspects: studies. manual for students. higher. studies. institutions / V.S. Malkin. - M. : Publishing center "Academy", 2007 - 288 p.
18. GOST 5640-68 Steel. Metallographic method for assessing the microstructure of sheets and tape.
19. GOST 5639-82 Steels and alloys. Methods of detection and determination of grain size.
20. Sinelnikov A. F. guidelines for fixing blocks and cylinder liners machining: Moscow state automobile and road technical University (MADI)/ Department of production and repair of cars and road machinery / F. A. Sinelnikov, A. Y. konoplin – M. : MADI 2014 – p. 41.
21. Karagodin, V. I. Repair of motor vehicles and engines: proc. manual for students. higher. studies. institutions / V. I. Karagodin, N.
22. Vakhlamov V.K., Shatrov M.G., Yurchevsky A.A., Automobiles. Theory and design of the car. – M.: Akademiya, 2003. S. 531.
23. The Stukanov V. A., Leont'ev K. N. The Device Of The Car. – M.: FORUM - INFRA-M, 2006. S. 372.
24. Ruckteschell O. S., Dyke G. A., Molebash L. A., S. G. Yakutovich the Design of the cars. Transmission., study. manual for students. higher. studies. institutions of specialty 1-370102 "Automotive industry".

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова Е.А. Тарасов*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*Н.М. Волков*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*Д.Н. Дегтев*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*С.А. Никитин*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*А.Н. Щиенко*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*А.А. Серов*

*Эксперт ООО Экспертное Учреждение  
“Региональный Центр Автотехнической  
Экспертизы” И.В. Жерносек*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29*

*e-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)*

*Voronezh State Technical University*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova E.A. Tarasov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova N.M. Volkov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova D.N. Degtev*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova S.A. Nikitin*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova A.N. Shchienko*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova A.A. Serov*

*Ekspert LLC Ekspertasutus "piirkondlik  
autotehnika Ekspertiisikeskus"  
I.V. Zhernosek*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29*

*e-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)*

*Е.А. Тарасов, Н.М. Волков, Д.Н. Дегтев, С.А. Никитин,  
А.Н. Щиенко, А.А. Серов, И.В. Жерносек*

### **ПРИМЕР ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ, ПОЛУЧИВШЕГО ПОВРЕЖДЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДТП**

Исследование имело своей целью установление причин неисправности автомобиля после ДТП. Устанавливается причина возникновения выявленных неисправностей рулевой рейки автомобиля. Решается вопрос возникновения выявленных неисправностей в результате произошедшего ДТП.

**Ключевые слова:** рулевая рейка, автомобиль, неисправность, исследование.

E.A. Tarasov, N.M. Volkov, D.N. Degtev, S.A. Nikitin,  
A.N. Shchienko, A.A. Serov, I.V. Zhernosek

## AN EXAMPLE OF A CAR STUDY, DAMAGED AS A RESULT OF AN ACCIDENT

The study was aimed at establishing the causes of the car malfunction after an accident. The cause of the detected malfunctions of the steering rack of the car is established. The issue of the occurrence of identified malfunctions as a result of an accident is being resolved.

**Keywords:** steering rack, car, malfunction, research.

### На разрешение эксперту поставлены следующие вопросы:

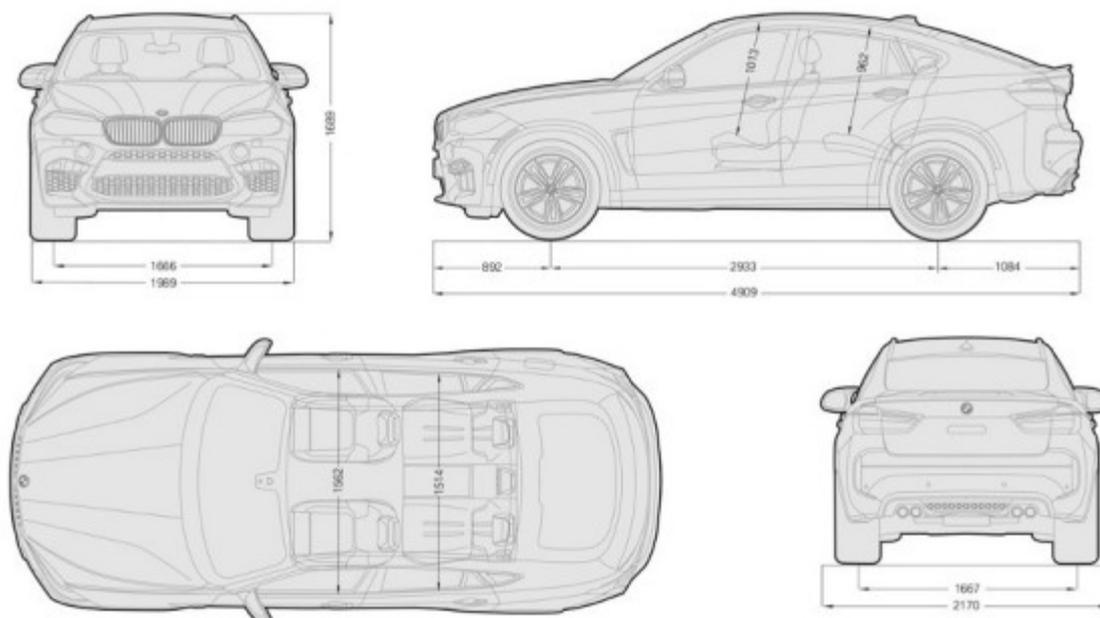
1. Имеет ли рулевая рейка автомобиля BMW X6 M (VIN) XXXXXXXXXXXX неисправности? Если да, то какие?
2. Возможно ли возникновение выявленных неисправностей в результате произошедшего ДТП?
3. Имеет ли автомобиль BMW X6 M (VIN) XXXXXXXXXXXX недостатки в проведенных ремонтно-восстановительных работах?

**Исходные данные:** При проведении ремонтно-восстановительных работ после ДТП автомобиля BMW X6 M (VIN) XXXXXXXXXXXX в сервисном центре ООО «XXXXXXXXXX» установлено, что при полученных в ДТП повреждениях необходима замена рулевой рейки, о чем свидетельствует информационное письмо официального дилера ООО «XXXXXXXXXX» №1517 от 16.04.2017г. со стороны страховой компании СПАО «XXXXXXXXXX» был получен отказ в замене в связи с отсутствием внешних механических повреждений. Дополнительно при приеме автомобиля из ремонта были установлены следы некачественно проведенных ремонтно-восстановительных работ.

### ===== ИССЛЕДОВАНИЕ =====

Экспертный осмотр исследуемого транспортного средства проводился 24 апреля 2018 года по адресу город Воронеж, п. Солнечный ул. XXXXXXXXXXXX, на территории дилерского центра ООО «XXXXXXXXXX». На осмотре присутствовали со стороны заказчика представитель ООО ТД «XXXXXXXXXX» XXXXXXXXXXXX Антон Сергеевич, со стороны СПАО «XXXXXXXXXX» XXXXXXXXXXXX Эдуард Семенович. Представители всех сторон были уведомлены о предстоящем экспертном осмотре должным образом. Осмотр проводился при естественном и искусственном электрическом освещении, невооруженным глазом. Съемка проводилась с помощью цифрового фотоаппарата «Panasonic DMC-LS5» и портативного электронного микроскопа с возможностью увеличения до 200X.

**Описание исследуемого объекта:** BMW X6 серии M (Рис. 1) объединяет в себе лучшие качества семейства моделей BMW X это функциональность в ежедневной эксплуатации и при этом обладают выдающимися динамическими характеристиками, свойственными спортивным автомобилям BMW M. Последнее подчеркивают внушительные динамические показатели моделей. Захватывающая дух динамика, впечатляющая маневренность, безупречная управляемость: BMW X6 M устанавливает новые стандарты в своем классе. Функция Launch Control обеспечивает максимально быстрый разгон с места в любых условиях. Активная подвеска Dynamic Drive, система Dynamic Performance Control и система динамической регулировки жесткости подвески позволяют вашему BMW идеально адаптироваться практически к любым условиям вождения.



**Рис. 1.** Внешний вид и габаритные размеры исследуемого объекта

Базовая версия xDrive30d оснащается 249-сильным 3,0-литровым дизелем с турбонаддувом (560 Нм). С такой силовой установкой X6 способен разогнаться до 230 км/ч, причём первую «сотню» кроссовер наберёт за 6,7 секунды. Модель xDrive40d располагает мощностью 313 л.с. (630 Нм) и в динамике выигрывает почти секунду. Самая же мощная дизельная модификация BMW X6 M50d, оснащённая 3,0-литровым дизелем с тремя турбонагнетателями, имеет в запасе 381 л.с. (740 Нм) и разгоняет автомобиль до «сотни» за 5,2 с. Начальная бензиновая версия xDrive35i смотрится «поживее» базового дизеля и располагает мощностью 306 л.с. (400 Нм), разгон до 100км/ч — за 6,4 с. Бензиновая модификация xDrive50i самая мощная в линейке — 4,4-литровый V8 с двумя турбонагнетателями развивает 450 л.с. мощности и 650 Нм тяги. Такая версия купе-кроссовера разгоняется до 100 км/ч за 4,8 секунды, а максимальная скорость ограничена отметкой в 250 км/ч. Все перечисленные моторы работают в паре с восьмиступенчатым «автоматом».

----- **Вопрос № 1** -----

В результате экспертного осмотра объекта исследования и диалога с представителями сторон установлено следующее:

- идентификация исследуемого транспортного средства и его идентификационные параметры и характеристики соответствуют данным регистрационных документов, предоставленных специалисту в рамках проведения экспертного осмотра (фото 1-3 фототаблицы);
- пробег исследуемого автомобиля определялся по одометру и на момент проведения осмотра составил 46290 км. (фото 4 фототаблицы);
- подкапотное пространство полностью комплектно и соответствует комплектации завода изготовителя (фото 5 фототаблицы).

Согласно предоставленным представителем ООО ТД «XXXXXXXXXXXX» XXXXXXXXXXXX Антоном Сергеевичем фотоматериалам с места ДТП, автомобиль имел основные механические повреждения передней левой части кузова, и непосредственно подвески переднего левого колеса, которая на момент проведения осмотра была восстановлена (фото 6 фототаблицы);

- подвеска переднего левого колеса имеет следы замены нижних рычагов, элементов шаровых опор и приводного вала (фото 7 фототаблицы);

- поворотный кулак, рулевые наконечники и рулевая рейка не имеют следов замены и видимых механических повреждений (фото 8 фототаблицы).

При проведении исследования рулевого механизма исследуемого автомобиля с применением магнитной подставки и поверенного индикатора часового типа на левой части рулевого механизма установлена повышенная свободная подвижность (люфт) в сопрягаемых с рулевой рейкой элементах (рулевых тягах) (фото 9-10 фототаблицы);

- при приложении усилия кисти руки к правой рулевой тяге и совершения рукой возвратно-поступательных движений, в рулевом механизме свободная подвижность (люфт) не выявлена (фото 11-12 фототаблицы);

- Внешние детали и узлы исследуемой рулевой рейки следов механических повреждений и следов постороннего вмешательства не имеют (фото 13-14 фототаблицы).

Далее с применением механического стетоскопа в присутствии представителя СПАО «XXXXXXXXXX» XXXXXXXXXXXX Эдуарда Семеновича выявлен стук в области левой части рулевой рейки при вращении рулевого колеса исследуемого автомобиля (как при работающем так и не работающем двигателе внутреннего сгорания).

Описанное выше позволяет утверждать что рулевая рейка автомобиля BMW X6 M (VIN) XXXXXXXXXXXX имеет неисправности в виде постороннего стука в корпусе рейки с левой стороны и свободной подвижности (люфта) с левой стороны.

## ----- Вопрос № 2 -----

В экспертной практике при отсутствии возможности натурального сопоставления и совмещения повреждений автомобилей в момент первичного контактного взаимодействия повреждения устанавливаются по протоколам осмотров этих автомобилей или по фотографиям их повреждений. Учитывая что исследуемый автомобиль уже прошел восстановительный ремонт то следы контакта устанавливались по видимым ремонтным воздействиям.

При решении поставленного вопроса эксперт исходил из теоретической посылки о том, что при столкновении на автомобилях образуются статические и динамические следы их взаимного контактирования в виде царапин, потертостей, деформаций, разрывов металла, наслоений (отслоений) на контактирующих деталях, а также вторичные деформации и следы восстановительного ремонта.

Обращаясь к фотоматериалам предоставленным представителем ООО ТД «XXXXXXXXXX» автомобиль получил наибольшие механические повреждения в передней левой части. Конструктивно на исследуемом автомобиле рулевая рейка находится в передней части передней подвести и ближе к переднему краю колеса (фото 8 фототаблицы). Характер повреждений установленных во внутренних механизмах рулевой рейки (люфт, стук) и повреждения сопряженных деталей передней подвески и переднего левого колеса, позволяет утверждать что такие детали как поворотный кулак и ступичный подшипник также получили повреждения.

Свойствами, определяющими способность объекта вступать во взаимодействие с другими объектами, отображая в них свои признаки, либо воспринимая признаки этих объектов, обладают все тела, имеющие устойчивые пространственные границы. Однако, свойства эти проявляются в разной мере, так как зависят от твердости объекта, способности его к упругим или остаточным деформациям, от строения рельефа поверхности, степени устойчивости его во времени.

Транспортные средства обладают способностью сохранять в относительно неизменном виде общую форму и детали рельефа поверхности в обычном состоянии и в процессе следового взаимодействия со следовоспринимающими объектами.

Конкретного взаимодействия со слеодообразующим объектом у таких деталей как рулевая рейка и передний поворотный кулак со ступичным подшипником не было, данные детали выполнили роль передающих усилия от чего получили внутренние механические повреждения не видимые с внешней стороны и невооруженным глазом.

При исследовании механизма происшествия признаки, непосредственно позволяющие установить то или иное обстоятельство, могут отсутствовать. Во многих случаях механизм можно определить, исходя из данных о других обстоятельствах происшествия, путем проведения экспертного исследования на основании закономерностей, объединяющих все обстоятельства механизма в одну цепь.

В данном конкретном случае учитывая что наибольшие повреждения получили детали передней левой подвески, такие как нижние рычаги и колесный диск, можно утверждать что такие детали как рулевая рейка, поворотный кулак ступичным подшипником так же получили внутренние механические повреждения и при дальнейшей эксплуатации данные повреждения будут прогрессировать что приведет к поломке данных узлов.

Работа подшипника происходит в определенных, заранее рассчитанных условиях, изменение может привести к преждевременному выходу подшипника из строя. Во избежание неблагоприятных воздействий на подшипник при его эксплуатации и замене не рекомендуется производить каких-либо изменений условий его работы. В конкретном случае передающийся через материалы подвески удар повлиял на работоспособность подшипника изменив заложенные заводом изготовителем параметры, которые при дальнейшем его использовании на автомобиле приводят к выходу его из строя что может напрямую влиять на безопасность дорожного движения т.к. Разрушение подшипника грозит заклиниванием переднего левого управляемого колеса и потере управляемости во время движения автомобиля.

Дополнительно сотрудниками сервисного центра был предоставлен протокол промера геометрии и выставление углов установки колес в котором такой показатель как угол разности колеи имеет показатель -2,08 при норме -1,46. Несмотря на то что данный показатель находится в «зеленой» зоне он является предельным, что в свою очередь при дальнейшей эксплуатации приведет к его естественному изменению и выходу из нормальных значений, что дополнительно подтверждает правильность выводов специалиста.

На основании проведенного выше исследования можно сделать вывод: что неисправности деталей рулевой рейки, а так же переднего левого поворотного кулака и ступичного подшипника произошли в результате полученных в ДТП повреждений автомобиля BMW X6 M (VIN) XXXXXXXXXXXX.

### ----- Вопрос № 3 -----

Механизм столкновения транспортных средств (ТС) можно разделить на три стадии: приближение ТС перед столкновением, их взаимодействие при ударе и отбрасывание (движение после столкновения).

Классификационные признаки, определяющие механизм столкновения транспортных средств подразделяются на 2 основные группы: признаки, общие для столкновения двух транспортных средств в целом, и признаки, относящиеся, отдельно к каждому из них, которые могут и не совпадать.

Перемещение одного транспортного средства (ТС) в поперечном направлении по отношению к полосе движения другого в процессе их сближения (классификация по направлению движения ТС). Признак определяется следом угла столкновения  $\alpha$ , которая может быть установлена по следам колес обоих ТС перед столкновением, по расположению ТС и следов их перемещения после происшествия, по направлению отбрасывания отделившихся от них объектов (осколки стекла и др.), по полученным при столкновении деформациям.

Полученные повреждения в результате столкновения двух ТС подвергаются восстановительному ремонту.

Восстановительный ремонт – это комплекс работ, которые необходимо выполнить для восстановления технических характеристик и потребительских свойств, которые автомобиль имел непосредственно до повреждения.

В общем случае восстановительный ремонт подразумевает выполнение работ: демонтажа/монтажа; проверка и регулировка агрегатов и узлов; замена или ремонт отдельных агрегатов, узлов и деталей; окраска отдельных элементов или кузова автомобиля в целом.

При проведении исследования деталей кузова предоставленного автомобиля органолептическим методом установлено следующее:

- передняя нижняя часть передней двери имеет сколы лакокрасочного покрытия (фото 15 фототаблицы);

- сопрягаемые детали передней и задней двери имеют следы перекоса зазоров и механических повреждений в передней нижней части задней двери (фото 16 фототаблицы);

- нижняя часть передней и задней левой двери имеет отличную от остальной поверхности шагрень (фото 17 фототаблицы).

Как известно из справочной литературы возникновение шагрени на лакокрасочном покрытии может быть связано с нарушением режимов нанесения покрытия: чрезмерно большое или недостаточное давление при распылении или слишком быстрая сушка лакового покрытия, которая препятствует растеканию лака по поверхности.

- накладка на переднем левом крыле имеет повреждение от инструмента при проведении полировки, и следы неплотного прилегания в верхней части (фото 18 фототаблицы);

- передний бампер имеет увеличенные зазоры в передней левой части, левая нижняя накладка бампера имеет повреждения от инструмента при проведении полировки (фото 19-20 фототаблицы);

- капот имеет увеличенную шагрень окраски и подтеки лака на передней его части (фото 21 фототаблицы);

- заднее левое крыло имеет следы механических повреждений в виде продольных царапин (фото 22 фототаблицы);

- зазор между задним бампером и задним наружным фонарем отсутствует, в результате чего наружный фонарь соприкасается с верхней кромкой бампера (фото 23 фототаблицы).

С применением цифрового эндоскопа установлено что левый интеркуллер имеет следы механического повреждения в нижней внутренней части (фото 24 фототаблицы).

Все вышесказанное позволяет утверждать что автомобиль BMW X6 M (VIN) XXXXXXXXXX имеет недостатки в проведенных ремонтно-восстановительных работах в виде механических повреждений и сколах лакокрасочного покрытия на ремонтных деталях, окрашенные детали имеют отличную от остальной поверхности автомобиля шагрень, накладки на переднем левом крыле и в нижней левой части переднего бампера имеют повреждение от инструмента при проведении полировки, передний бампер имеет увеличенные зазоры в передней левой части, зазор между задним бампером и задним наружным фонарем отсутствует, в результате чего наружный фонарь соприкасается с верхней кромкой бампера, левый интеркуллер имеет следы механического повреждения в нижней внутренней части.

## ===== В Ы В О Д Ы =====

**По результатам проведенной экспертизы необходимо сделать следующий вывод:**

### ----- Вопрос № 1 -----

Рулевая рейка автомобиля BMW X6 M (VIN) XXXXXXXXXX имеет неисправности в виде постороннего стука в корпусе рейки с левой стороны и свободной подвижности (люфта) с левой стороны.

## ----- Вопрос № 2 -----

Неисправности деталей рулевой рейки, переднего левого поворотного кулака и ступичного подшипника произошли в результате полученных в ДТП повреждений автомобиля BMW X6 M (VIN) XXXXXXXXXXXX.

## ----- Вопрос № 3 -----

Автомобиль BMW X6 M (VIN) XXXXXXXXXXXX имеет недостатки в проведенных ремонтно-восстановительных работах в виде механических повреждений и сколах лакокрасочного покрытия на ремонтных деталях, окрашенные детали имеют отличную от остальной поверхности автомобиля шагрень, накладки на переднем левом крыле и в нижней левой части переднего бампера имеют повреждение от инструмента при проведении полировки, передний бампер имеет увеличенные зазоры в передней левой части, зазор между задним бампером и задним наружным фонарем отсутствует, в результате чего наружный фонарь соприкасается с верхней кромкой бампера, левый интеркуллер имеет следы механического повреждения в нижней внутренней части.

### Библиографический список

1. О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации: Федеральный Закон от 31 мая 2001 № 73-ФЗ / Российская газ. – 2001. – 05.06. – С. 3.
2. Об организации независимой технической экспертизы транспортных средств: Постановление Правительства РФ от 24 апреля 2003 № 238 / Российская газ. – 2003. – 30.04. – С.4.
3. Об утверждении правил оказания услуг (выполнения работ) по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств: Постановление Правительства РФ от 11 апреля 2001 № 290 / Российская газ. – 2001. – 13.05. – С. 2.
4. Беляева, Л. Д. Современные возможности экспертиз : методическое пособие для экспертов, следователей и судей / Л. Д.Беляева, А. Ю. Бутырин, Ю. М. Воронков – М. : Триадa-X, 2000.
5. РД 37.009.025-92 Положение о гарантийном обслуживании легковых автомобилей и мототехники.
6. Кузнецов, А. С. Слесарь по ремонту автомобилей : учеб. пособие для нач. проф. образования / А.С. Кузнецов. 6-е изд.,стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2011 – 304 с.
7. Березин, С.В. Справочник автомеханика / С. В. Березин. – М. : Феникс 2008 – 346 с.
8. Технология производства и ремонта автомобилей : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Ярошевич, А. С. Савич, В. П. Иванов. – Минск. : Адукацыя і выхаванне, 2008 – 640 с.
9. Малкин, В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.С. Малкин. – М. : Издательский центр «Академия», 2007 – 288 с.
10. Демокритов В.Н. и др. Основы проектирования машин. : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 236 С.
11. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В 3-х т. Т.2 - 9-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И. Н. Жестковой. – М. : Машиностроение, 2006. – 960 с.
12. Федотов А.И., Зарщиков А.М. Конструкция, расчет и потребительские свойства автомобилей: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений под общей редакцией Федотова А. И. – Иркутск, 2007. – 334 с.

13. Основные положения по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения: Постановление Правительства РФ от 23 октября 1993 №1090 / Российская газ. – 1993. – 06.11. – С. 3.

14. Замиховский, М. И. Исследование недостатков автомобилей, находящихся в эксплуатации : методическое пособие для экспертов и судей / М. И. Замиховский, А. В. Рузский, Ю. М. Воронков – М. : ИПК РФЦСЭ, 2006.

15. ГОСТ 15467-79. «Управление качеством продукции. Основные понятия, требования и определения» (понятия - производственный явный, скрытый устранимый и неустранимый дефект).

16. Евтюков С.А., Гальцев Ю.В., Колкутин В.В., Рябинин Г.А., Метрологический справочник для судебных экспертов и адвокатов, С-Пб, «ДНК», 2007 г.

17. Суворов, Ю. Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Техничко-юридический анализ причин ДТП и причинно-действующих факторов [Текст] : учебное пособие / Ю. Б. Суворов – М. : Издательство ПРИОР, 1998.

18. Суворов, Ю. Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. [Текст] : учебное пособие / Ю. Б. Суворов – М. : Экзамен, 2003.

19. Андрианов, Ю. В. Экспертиза транспортных средств при ОСАГО [Текст] : учебник / Ю. В. Андрианов – М. : Международная академия оценки и консалтинга, 2008. – 399 с.

20. Синельников, А. Ф. Кузова легковых автомобилей. Техническое обслуживание и ремонт [Текст] : учебник / А. Ф. Синельников, С. К. Лосавио, С. А. Скрипников – М. : Академкнига, 2004. – 537 с.

#### References

1. On state forensic activities in the Russian Federation: Federal Law of may 31, 2001 No. 73-FZ / Russian gas. – 2001. – 05.06. – P. 3.

2. About the organization of an independent technical examination of vehicles In the formation of the government of the Russian Federation dated 24 April 2003 No. 238 / Russian gas. – 2003. – 30.04. – S. 4.

3. On approval of the rules for the provision of services (performance of works) on maintenance and repair of motor vehicles: Decree of the Government of the Russian Federation No. 290 of April 11, 2001 / Russian Gas. - 2001. - 13.05. - p. 2.

4. Belyaeva, L. D. Modern possibilities of expertise : a methodological guide for experts, investigators and judges / L. D.Belyaeva, A. Y. Butyrin, Y. M. Voronkov - M. : Triad-X, 2000.

5. RD 37.009.025-92 Regulations on warranty service of passenger cars and motorcycles.

6. Kuznetsov, A. S. Car repair mechanic : textbook. manual for the beginning of professional education / A.S. Kuznetsov. 6th ed., ster. - M. : Publishing Center "Academy", 2011 - 304 p

. 7. Berezin, S.V. Handbook of automechanics / S. V. Berezin. - M. : Phoenix 2008 - 346 p.

8. Technology of production and repair of cars : studies. manual for students. higher. studies. institutions / V. K. Yaroshevich, A. S. Savich, V. P. Ivanov. - Minsk. : Adukatsia i vykhavanne, 2008 - 640 p.

9. Malkin, V.S. Technical operation of cars: Theoretical and practical aspects : textbook. manual for students. higher. studies. institutions / V.S. Malkin. - M. : Publishing center "Academy", 2007 - 288 p.

10. Demokritov V.N. et al. Fundamentals of machine design. : studies. manual for students. higher. studies. institutions / Ulyanovsk: UISTU, 2007– - 236 P.

11. Anuryev V.I. Handbook of a machine-building designer / In 3 vols. Vol. 2 - 9th ed., reprint. and additional / Edited by I. N. Zhestkova. - M. : Mashinostroenie, 2006– - 960 p.

12. Fedotov A.I., Zarshchikov A.M. Design, calculation and consumer properties of cars: textbook. manual for students. higher. studies. institutions under the general editorship of Fedotov A. I. - Irkutsk, 2007– - 334 p.
13. Main provisions for the admission of vehicles to operate and duties of officials to ensure road safety: the RF Government Decree of October 23, 1993, No. 1090 / Russian gas. – 1993. – 06.11. – P. 3.
14. Zamikhovskiy, M. I. a study of the shortcomings of the vehicles in operation : a manual for experts and judges / M. I. Zamikhovskiy, A. V. Ruzsky, J. M. Voronkov, M. : IPK center of forensic expertise, 2006.
15. GOST 15467-79. "Product quality management. Basic concepts, requirements and definitions" (concepts - manufacturing explicit, hidden removable and irremediable defect).
16. Evtuykov S.A., Galtsev Yu.V., Kolkutin V.V., Ryabinin G.A., Metrological handbook for forensic experts and lawyers, S-Pb, "DNA", 2007.
17. Suvorov, Yu. B. Forensic road transport expertise. Technical and legal analysis of the causes of accidents and causal factors [Text] : textbook / Yu. B. Suvorov - M. : PRIOR Publishing House, 1998.
18. Suvorov, Yu. B. Forensic road transport expertise. [Text] : textbook / Yu. B. Suvorov - M. : Exam, 2003.
19. Andrianov, Yu. V. Examination of vehicles under OSAGO [Text] : textbook / Yu. V. Andrianov - M. : International Academy of Assessment and Consulting, 2008– - 399 p.
20. Sinelnikov, A. F. Car bodies. Maintenance and repair [Text] : textbook / A. F. Sinelnikov, S. K. Losavio, S. A. Skripnikov - M. : Akademkniga, 2004– - 537 p.

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова Е.А. Тарасов*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*Н.М. Волков*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*Д.Н. Дегтев*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*С.А. Никитин*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*А.Н. Щиенко*

*Эксперт ООО Экспертное Учреждение  
“Региональный Центр Автотехнической  
Экспертизы” А.В. Кириенко*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29*

*e-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)*

*Voronezh State Technical University*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor*

*N.Ul'yanova E.A. Tarasov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor*

*N.Ul'yanova N.M. Volkov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor*

*N.Ul'yanova D.N. Degtev*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor*

*N.Ul'yanova S.A. Nikitin*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor*

*N.Ul'yanova A.N. Shchienko*

*Ekspert LLC Ekspertasutus "piirkondlik  
autotehnika Ekspertiisikeskus"*

*A.V. Kirienko*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29*

*e-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)*

Е.А. Тарасов, Н.М. Волков, Д.Н. Дегтев, С.А. Никитин, А.Н. Щиенко, А.В. Кириенко

### **ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ВАЗ 2114**

Исследование имело своей целью установление скорости движения участвовавшего в ДТП автомобиля ВАЗ 2114 перед столкновением. Установлено, что технические характеристики и визуальное качество представленной на исследование видеозаписи достаточны для проведения дальнейшего исследования. Определена скорость движения автомобиля ВАЗ 2114.

**Ключевые слова:** скорость движения, автомобиль, исследование, ДТП

Е.А. Tarasov, N.M. Volkov, D.N. Degtev, S.A. Nikitin, A.N. Shchienko, A.V. Kirienko

### **EXAMPLE OF SPEED DETECTION MOVEMENT OF THE VAZ 2114 CAR**

The study aimed to establish the speed of the VAZ 2114 car involved in the accident before the collision. It is established that the technical characteristics and visual quality of the video recording submitted for research are sufficient for further research. The speed of movement of the VAZ 2114 car is determined.

**Keywords:** driving speed, car, research, accident.

Основанием для производства экспертного исследования послужило заявление от Ивана Ивана Ивановича (г. Москва, ул. Шаболовка, 12)

Для производства экспертного исследования поступили следующие материалы:

• видеозапись, зафиксированная в файле «TATTELECOM\_KZN14\_DeviceIpint\_20820211224T162000\_20211224T163000.mkv».

На разрешение эксперта поставлен вопрос:

Какова скорость движения участвовавшего в ДТП автомобиля ВАЗ 2114 перед столкновением?

Исследование выполнено экспертом *XXXXX XXXXXX XXXXXXXX*, имеющим техническое и высшее юридическое образование, стаж работы по экспертной специальности «Исследование видеоизображений, условий, средств, материалов и следов видеозаписей» с 2007 года.

Обстоятельства дела известны эксперту из представленных на исследование материалов.

Экспертное исследование было проведено в помещении ООО Экспертное Учреждение «Региональный Центр Автотехнической Экспертизы».

## И С С Л Е Д О В А Н И Е

### I. Предварительное исследование

Исследование имело своей целью установление основных параметров видеопотока, пригодности визуального качества методами криминалистической экспертизы видеозаписей (визуальным и инструментальным) с использованием комплекса программных и аппаратных средств:

- ПЭВМ INTEL Core i5 2500k CPU 3.3 GHz, 16 Gb ОЗУ, монитор Philips 273E;
- программные пакеты: VirtualDub-1.10.4., K-Lite Mega Codec Pack 11.2.0, HashTab 5.2.0.14, Adobe Photoshop Elements 9.0, MediaInfo 0.7.79.

Проверка целостности и работоспособности программного обеспечения и компьютера осуществлялась путем выполнения штатных тестовых процедур.

Предварительное исследование показало, что подлежащая исследованию видеозапись зафиксирована в файле «TATTELECOM\_KZN14\_DeviceIpint\_20820211224T162000\_20211224T163000.mkv» (хэш-сумма MD5: 36267EA311388957E264B25F3CBD7861).

Представленная на исследование видеозапись была зафиксирована при помощи стационарно установленной камеры наружного наблюдения. В нижней правой части кадра расположен маркер, вероятно содержащий информацию о месте установки камеры системы видеонаблюдения. В верхней правой части кадра расположен маркер, содержащий информацию о дате и времени съемки. Видеозапись является цветной, проводилась в темное время суток при искусственном освещении. Изображения объектов имеют удовлетворительные резкостные характеристики. При появлении в кадре ярких источников света, некоторые локальные участки кадров визуально неразборчивы. Проезжая часть и некоторые объекты освещаются с помощью искусственного освещения (с помощью фонарей уличного освещения, фар проезжающих транспортных средств. Исследуемая видеозапись имеет продолжительность 09 мин. 59 с. и состоит из 60000 кадров. Кадровая частота составляет 100 к/с, однако она не совпадает с частотой кадров.

Покадровым просмотром было установлено, что частота кадров равна 25 к/с, соответственно период смены кадров равен  $1/25 = 0,04$  с.

Как видно из приведенных данных, технические характеристики видеозаписывающего устройства, используемого для видеозаписи, достаточно высокие, визуальное качество удовлетворительное.

Таким образом, технические характеристики и визуальное качество представленной на исследование видеозаписи достаточны для проведения дальнейшего исследования.

### II. Установление скорости движения автомобиля ВАЗ 2114

Данное исследование было направлено на определение мгновенной скорости автомобиля Лада 2114, движущегося в правом направлении в картинной плоскости кадра по представленной на исследование видеозаписи методами криминалистической экспертизы видеозаписей (визу-

альным, инструментальным и расчетным). Данное исследование было проведено при помощи программно-аппаратного комплекса, указанного в части I настоящего заключения.

Вычисление скорости ТС (транспортного средства) сводится к установлению расстояния пройденного им за определённое время. Так как на видеоролике ТС фиксируется в дискретные моменты времени с периодом, равным периоду смены кадров, то по изменению координат объекта в кадрах с номером  $n$  и  $n+1$  и по известной частоте смены кадров можно определить среднюю скорость движения автомобиля в текущий момент времени.

При решении данной задачи известными параметрами или параметрами легко определяемыми являются время смены кадров  $T_k$ , геометрические размеры автомобиля [мм] и размеры отображения автомобиля на первичном преобразователе [в пикселях]. В большинстве случаев при нахождении скорости автомобиля можно использовать шкалу отношений. Шкалой отношений называется шкала, в которой численные значения числовой системы определяются с точностью до преобразований подобия

$$\Psi(x) = ax, a > 0.$$

В данной шкале фиксируется начало отсчета, но не единица измерения. Свойство шкалы: при выборе любой системы измерений отношение измерений одинаково при переходе от одной системы к другой. Данному условию удовлетворяет ракурс съемки устройства видеозаписи, с помощью которого была произведена запись представленной на исследование видеограммы.

Выбор кадров 1 и 2 (нумерация условная) для расчета скорости был обусловлен тем, что на данном участке ракурс съемки наиболее оптимален, автомобиль ВАЗ 2114 не начал торможение.

Расчет скорости выполняется следующим образом:

В кадре с номером 1 (Рис. 1) с помощью программы Adobe Photoshop Elements определяем координаты передней и задней осей автомобиля Лада 2114. Определяем расстояние от передней до задней оси Лада 2114 (в пикселях) по формуле

$$B = \sqrt{(Xz - Xn)^2 + (Yz - Yn)^2}, \quad (1)$$

где  $Xz, Yz$  – координаты крайней задней точки Лада 2114,

$Xz = 536 \text{ pix}, Yz = 209 \text{ pix};$

$Xn, Yn$  – координаты крайней передней точки автомобиля Лада 2114,

$Xn = 581 \text{ pix}, Yn = 196 \text{ pix}.$

Подставляем значения координат этих точек в формулу (1) и получаем расстояние от передней до задней точек кузова Лада 2114, выраженную в пикселях.  $B = 46,84015371$  пикселей.



Рис. 1. Кадр № 1

На основании информации, полученной из [5], было установлено, что колесная база Лада 2114 составляет 2460 мм. (Рис. 2).

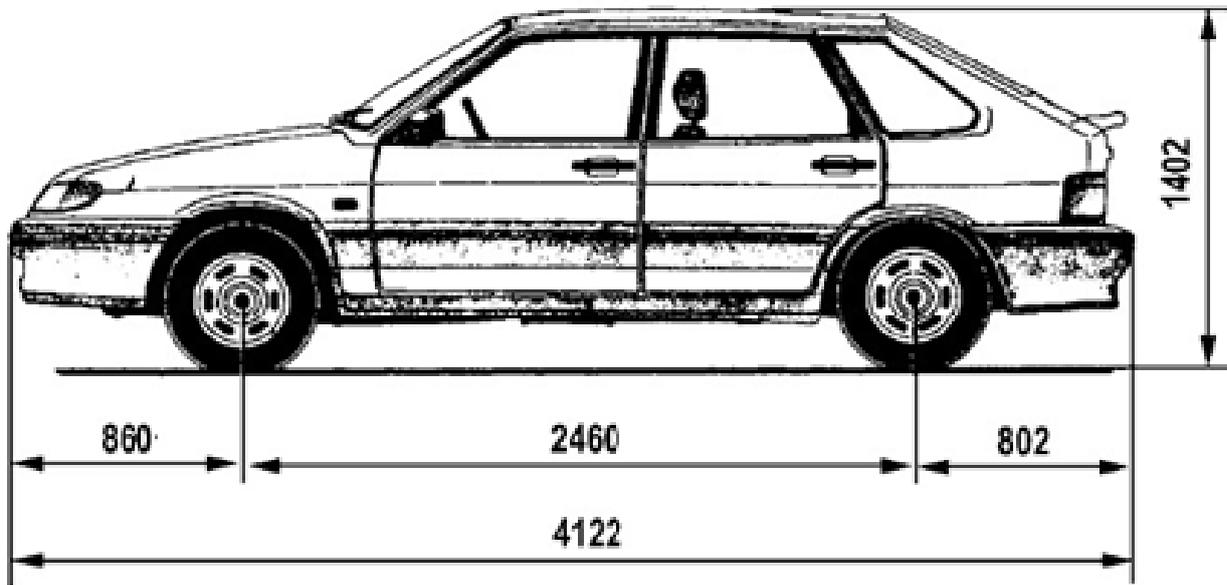


Рис. 2. Данные о габаритных размерах автомобиля Лада 2114

Определяем координаты задней оси автомобиля Лада 2114 в кадре под номером 2 (Рис. 3) и находим пройденное расстояние автомобилем Лада 2114 за время, равное периоду смены кадров

$$R = \sqrt{(X_{n+1} - X_n)^2 + (Y_{n+1} - Y_n)^2}, \quad (2)$$

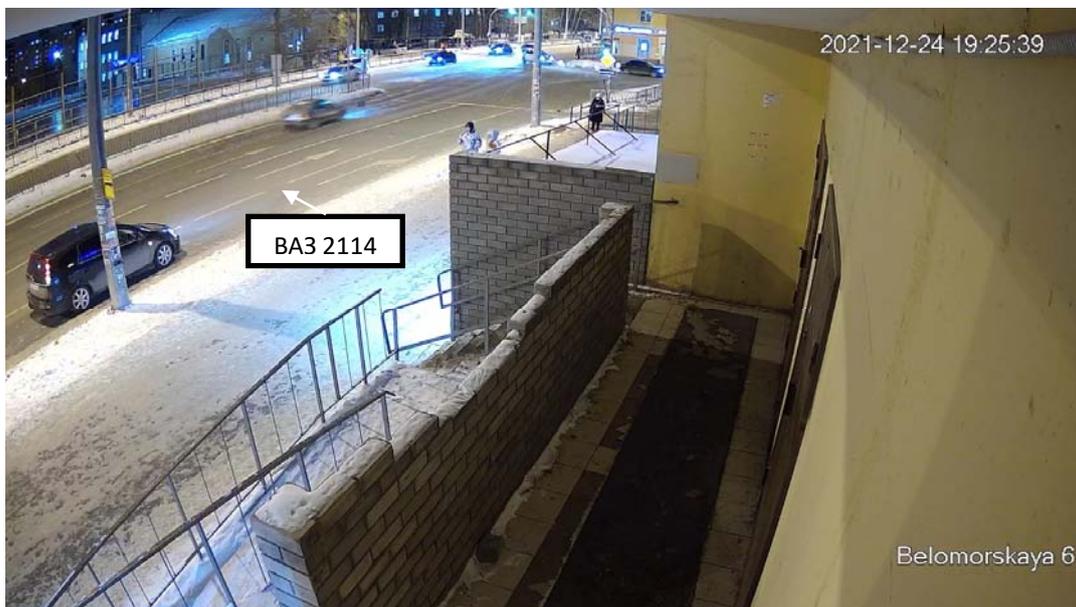


Рис. 3. Кадр № 2

$X_1 = 536$  пикс,  $X_2 = 554$  пикс,  $Y_1 = 209$  пикс,  $Y_2 = 205$  пикс. Подставляем координаты в формулу (2). Получаем путь, пройденный автомобилем Лада 2114 за время, равное периоду смены кадров  $R = 18,43908891$  пикселей.

Соотносим данное расстояние к расстоянию от передней до задней осей автомобиля Лада 2114.

$$K = R/B \quad K=0,393659872$$

Рассчитываем мгновенную скорость автомобиля Лада 211440

Период смены кадров равен 0,083 секунды.

$$V_1 = KL/T_k = 0,393659872 \cdot 2,46/0,04 = 24,21008213 \text{ м/с или } 87,15629566 \text{ км/час.}$$

Таким образом, расчетная скорость движения автомобиля Лада 2114 с учетом округления составляла около 87 км/ч.

#### Выводы

Расчетная скорость движения участвовавшего в ДТП автомобиля ВАЗ 2114 перед столкновением составляла около 87 км/ч.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 13699-91 Запись и воспроизведение информации. Термины и определения. М., 1991;
2. Каганов А.Ш. Криминалистические исследования видео– и звукозаписей// Криминалистика. Информационные технологии доказывания / под ред. д.ю.н. проф. В.Я. Колдина – М: Зерцало–М, 2007. – 752 с.;
3. Кочетков А.Т. Криминалистическая видеозапись. М: Щит–М, 2004.
4. С.С. Абрамов, А.С. Абрамов, А.М. Зимин, А.Ш. Каганов, П.А. Кирьянов, Н.А. Романько, И.И. Чава Особенности проведения комплексных экспертиз по материалам видеозаписей – М:Издательский центр “Судэкс”, 2011. – 223 с.
5. Руководство по эксплуатации автомобилей Lada Samara и их модификаций. ДИС ОАО «Автоваз». Декабрь 2008 г. 85 с.

#### References

1. GOST 13699-91 Recording and reproduction of information. Terms and definitions. M., 1991;
2. Kaganov A.Sh. Criminalistic studies of video and sound recordings// Criminalistics. Information technologies of proof / ed. by D.Yu.n. prof. V.Ya. Koldin - M: Zertsalo-M, 2007. - 752 p.;
3. Kochetkov A.T. Forensic video recording. M: Shield-M, 2004.
4. S.S. Abramov, A.S. Abramov, A.M. Zimin, A.S. Kaganov, P.A. Kiryanov, N.A. Romanko, I.I. Chava Features of conducting complex examinations based on video recordings - M: Sudex Publishing Center, 2011. - 223 p.
5. Operation manual for Lada Samara cars and their modifications. DIS of JSC Avtovaz. December 2008, 85 p .

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова Е.А. Тарасов*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова  
Н.М. Волков*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*Д.Н. Дегтев*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*С.А. Никитин*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова*

*А.Н. Щиенко*

*Старший экономист АО Концерн*

*“Созвездие” Е.В. Тарасова*

*Магистрант ВГТУ Н.А. Насонов*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-52-52-52*

*e-mail: office @sozvezdie.su*

*Voronezh State Technical University*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova E.A. Tarasov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova N.M. Volkov*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova D.N. Degtev*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova S.A. Nikitin*

*D.Sc.( Engineerin), Assoc. Department of  
construction engineering and engineering  
mechanics named after Professor  
N.Ul'yanova A.N. Shchienko*

*Senior Economist of JSC Concern*

*"Convocation" E.V. Tarasova*

*Undergraduate of VSTU N.A. Nasonov*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-52-52-52*

*e-mail: office@sozvezdie.su*

*Е.А. Тарасов, Н.М. Волков, Д.Н. Дегтев, С.А. Никитин,  
А.Н. Щиенко, Е.В. Тарасова, Н.А. Насонов*

## **ПРИМЕР ЗАКЛЮЧЕНИЯ ЭКСПЕРТА ПО УСТАНОВЛЕНИЮ ПРИЧИНЫ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ КОЛЕСНЫХ ДИСКОВ МУСОРОВОЗА**

Исследование имело своей целью установление причины выхода из строя колесных дисков мусоровоза. Установлена причина образования трещин на колесных дисках транспортного средства МК-1441-14 на шасси ГАЗ (VIN) xXXXXXXXXXX. Металлографический анализ при исследовании не проводился.

**Ключевые слова:** транспортное средство, эксперта, мусоровоз.

*Е.А. Tarasov, N.M. Volkov, D.N. Degtev, S.A. Nikitin,  
A.N. Shchienko, E.V. Tarasova, N.A. Nasonov*

## **AN EXAMPLE OF AN EXPERT'S CONCLUSION ON DETERMINING THE REASON FOR THE EXIT FAILURE OF THE WHEELS OF THE GARBAGE TRUCK**

The study aimed to establish the cause of the failure of the wheels of the garbage truck. The reason for the formation of cracks on the wheels of the MK-1441-14 vehicle on the GAZ (VIN) xXXXXXXXXXX chassis has been established. Metallographic analysis was not carried out during the study.

**Keywords:** vehicle, expert, garbage truck.

Основанием для производства судебной автотехнической экспертизы послужило определение о приостановлении производства по делу и назначении судебной экспертизы по делу № XXXXXXXX/XXXXXXX от “20” декабря 2021 г., вынесенное судьей Арбитражного суда города Москвы XXXXXXXX, поступившее в Научно-Технический Центр “Автотехническая Экспертиза” (НТЦ “АВТОТЕХ”) ФГБОУ ВО “Воронежский государственный технический университет”.

Заключение выполнено в служебном кабинете (к.3114) ФГБОУ ВО “Воронежского государственного технического университета”.

**На разрешение экспертизы поставлен следующий вопрос:**

1. Имеются ли заявленные истцом дефекты в виде разрушения колесных ступиц и колесных дисков у транспортного средства?

2. Какова причина разрушения колесных дисков транспортного средства МК-1441-14 на шасси ГАЗ (VIN) XXXXXXXXXXXXXXXX гос.рег.знак XXXXXXXXXXXXX (производственная или эксплуатационная)?

3. Могли ли представленные истцом колесные диски принадлежать (быть установленными) заявленной Технике и эксплуатироваться вместе до разрушения с момента продажи?

**Производство экспертного исследования поручено** эксперту Научно-Технического Центра “Автотехническая Экспертиза” (НТЦ “АВТОТЕХ”) ФГБОУ ВО “Воронежский государственный технический университет”, Тарасову Евгению Александровичу, доценту кафедры “Строительной техники и инженерной механики имени профессора Н.А. Ульянова”, имеющему ученую степень кандидата технических наук, высшее образование, инженеру по специальности “Автомобили и автомобильное хозяйство” и специальную подготовку по независимой технической экспертизе транспортного средства, прошедшему профессиональную аттестацию экспертов-техников, осуществляющих независимую техническую экспертизу транспортных средств в Межведомственной аттестационной комиссии (МАК) (протокол заседания МАК № 4 от 15 июня 2012 г.), внесен в государственный реестр экспертов-техников Министерства Юстиции Российской Федерации, прошел специальную экспертную подготовку в области производства экспертиз по специальностям 10.2 “Экспертиза лакокрасочных материалов и покрытий”, 13.1 “Исследование обстоятельств дорожно-транспортного происшествия”, 13.2 “Исследование технического состояния транспортных средств”, 13.3 “Исследование следов на транспортных средствах и месте дорожно-транспортного происшествия (транспортно-трасологическая диагностика), стаж работы по экспертной специальности 13.2 “Исследование технического состояния транспортных средств” с 2018 года.

Эксперт Тарасов Е.А. имеет опыт работы в сервисных центрах официальных дилеров VW, Kia, Volvo, Jeep и др., осуществляющих продажу и техническое обслуживание транспортных средств.

Эксперт Тарасов Е.А. является автором множества научных статей по автотехнической экспертизе, опубликованных в рецензированных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией.

**Обстоятельства дела**

Иск заявлен ООО “XXXX” к ООО “XXXX” о взыскании стоимости затрат по восстановительному ремонту транспортного средства в размере 31700 руб., процентов за пользование чужими денежными средствами за период с 23.12.2020 г. по 18.06.2021 г. в размере 701,87 руб., производить начисление процентов за пользование чужими денежными средствами по день фактической уплаты основного долга (31700 руб.) исходя из ключевой ставки Банка России, действующие в соответствующие периоды и расходов на проведение автотехнической экспертизы в размере 10000 руб.

Остальные обстоятельства дела известны эксперту из предоставленных Судом материалов.

## ===== ИССЛЕДОВАНИЕ =====

Экспертный осмотр исследуемого транспортного средства и колесных дисков проводился 17.03.2022 года с 9-30 до 14-00 по адресу: Воронежская обл., г. Павловск, XXXXXXXXXX. На осмотре присутствовали представители ООО “XXXXXX”, представители ООО “XXXXXXX” на осмотре не присутствовали. Представители всех сторон были уведомлены о предстоящем экспертном осмотре должным образом. Осмотр проводился при естественном освещении.

В процессе исследования использовались следующие материалы, технические средства, инструмент и приспособления:

- Лекальная линейка;
- Линейка металлическая 500 мм;
- Лупа измерительная HORIZON с кратностью увеличения 10X;
- Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0.01;
- Микрометр с пределом измерений 0 ... 25 мм;
- цифровой микроскоп с кратностью увеличения 500X;
- ноутбук Acer TravelMate.

Съемка проводилась с помощью цифровых фотоаппаратов Sony и Canon.

Мусоровозы серии МК-1441-14 предназначены для задней механизированной загрузки в кузов бытовых и подобных отходов, не содержащих вредных для окружающей среды и людей компонентов, уплотнения отходов и его транспортировки. Мусоровозы предназначены для работы со стандартными контейнерами вместимостью 0,2 м<sup>3</sup>, 0,8 м<sup>3</sup>, оборудованными специальными местами для захвата на передней стенке. Для удобства работы все контейнеры должны быть оснащены колесами.

### Краткие характеристики исследуемого транспортного средства

Производитель	Рязский авторемонтный завод
Тип загрузки	задняя
Базовое шасси	ГАЗ
Вместимость кузова, м <sup>3</sup>	8±0,2
Масса загружаемых отходов, кг	1785
Коэффициент уплотнения мусора	до 3
Колёсная формула	4x2
Мощность двигателя, л.с.	148
Экологический класс	Евро4
Двигатель модель	ЯМЗ 53441
Число передач КПП	5
Полная масса, кг	8700
Габаритные размеры. Длина, мм	8500
Габаритные размеры. Ширина, мм	2286
Габаритные размеры. Высота, мм	2704
Грузоподъёмность загрузочного механизма, кг	700

----- Вопрос № 1 -----

- Общий вид исследуемого транспортного средства представлен на рис.1 и 2.



Рис. 1.



Рис. 2.

- стальные колесные диски на экспертный осмотр были представлены представителями ООО “ВЕГА”, в количестве 5 шт., общий вид предоставленных колесных дисков транспортного средства представлен на рис. 3-8;



Рис. 3.



Рис. 4.



Рис. 5.



Рис. 6.



Рис. 7.



Рис. 8.

- все представленные на осмотр колесные диски имеют размерность 6.75J x 19.5 (рис.9), вылет ET135 (рис.10), каталожный номер – 167.510-21 (рис.11); производитель – HARTUNG (рис.12); 6 отверстий под колесные болты (рис. 7)



Рис. 9.



Рис. 10.



Рис. 11.



Рис. 12.

- в процессе экспертного осмотра с транспортного средства МК-1441-14 на шасси ГАЗ (VIN) х89144114J0AA3448 гос.рег.знак У435ВМ136 с целью изучения характеристик установленных на автомобиле колесных дисков, были поочередно демонтированы обе пары задних колес (рис.13-16);



Рис. 13.



Рис. 14.



Рис. 15.



Рис. 16.

- все демонтированные с транспортного средства колесные диски в количестве 4 шт. имеют размерность 6.75J x 19.5 (рис. 17), вылет ET135 (рис. 18), каталожный номер – 167.510-21 (рис. 17); производитель – HARTUNG (рис. 19); 6 отверстий под колесные болты (рис. 20);



Рис. 17.



Рис. 18.



Рис. 19.



Рис. 20.

- колесные диски крепятся к ступице колеса с помощью гаек, диаметр шпильки – 22 мм (рис. 21, 22);



Рис. 21.



Рис. 22.

- колесные ступицы, установленные на исследуемом транспортном средстве внешних механических повреждений, следов перегрева, неквалифицированного ремонта не имеют (рис.23-26);



Рис. 23.



Рис. 24.



Рис. 25.



Рис. 26.

- резьба на шпильках ступиц колес не растянута, не удлинена; шаг резьбы и ее профиль не нарушены, зазор в профиле резьбы по среднему диаметру не изменен, рабочие поверхности профиля резьбы не смяты;

- на автомобиле установлены шины КАМА (рис. 27), размерность – 245/70R19.5 (рис. 28);



Рис. 27.



Рис. 28.

- в результате измерений установлено, что диаметры ступичных отверстий предоставленных на осмотр колесных дисков и демонтированных колес одинаковые и составляют 164 мм (рис. 29, 30);



Рис. 29.



Рис. 30.

- диаметр отверстия под колесную шпильку составляет на предоставленном и демонтированном дисках – 24 мм (рис. 31, 32);



Рис. 31.



Рис. 32.

- диаметр демонтированного с ТС и предоставленного на осмотр дисков составляет 49,5 см (соответствует 19,5 дюйму) (рис. 33, 34);



Рис. 33.



Рис. 34.

- коробления предоставленных на экспертный осмотр колесных дисков не выявлено (рис. 35, 36);



Рис. 35.



Рис. 36.

- на правом лонжероне рамы транспортного средства выявлена трещина (рис. 37, 38);



Рис. 37.



Рис. 38.

- на колесном диске № 1 над отверстиями под шпильки крепления колесного диска к ступице выявлены трещины (рис. 4, 39-42);



Рис. 39.



Рис. 40.



Рис. 41.



Рис. 42.

- на колесном диске № 2 над отверстиями под шпильки крепления колесного диска к ступице выявлены трещины (рис. 5, 43-48);



Рис. 43.



Рис. 44.



Рис. 45.



Рис. 46.



Рис. 47.



Рис. 48.

- на колесном диске № 3 над отверстиями под шпильки крепления колесного диска к ступице выявлены трещины (рис. 6, 49-54);



Рис. 49.



Рис. 50.



Рис. 51.



Рис. 52.



Рис. 53.

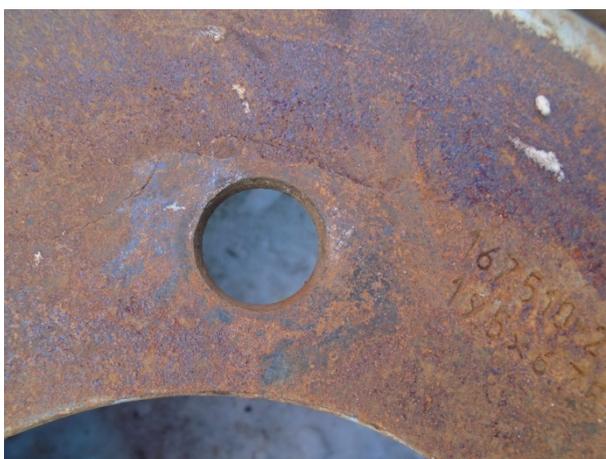


Рис. 54.

- на колесном диске № 4 над отверстиями под шпильки крепления колесного диска к ступице выявлены трещины (рис. 7, 55-58);



Рис. 55.



Рис. 56.



Рис. 57.



Рис. 58.

- на колесном диске № 5 выявлено его разрушение с утратой фрагментов (рис. 8, 59, 60);



Рис. 59.



Рис. 60.

- дальнейшее исследование колесных дисков позволило установить, что выявленные трещины на дисках №№ 1, 3 и 4 носят поверхностный характер (рис. 61, 62, 63), а на диске № 2 трещины являются сквозными (рис. 64);

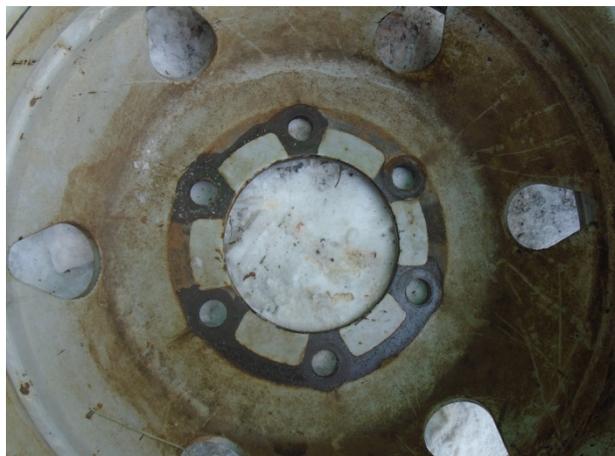


Рис. 61.



Рис. 62.



Рис. 63.



Рис. 64.

Кроме вышесказанного эксперт отмечает, что колесные ступицы ему не предоставлялись, поэтому их исследование не производилось.

К перечню неисправностей и условий, при которых запрещается эксплуатация транспортных средств [34], в том числе относится:

**5.3. Отсутствует болт (гайка) крепления или имеются трещины диска и ободьев колес, имеются видимые нарушения формы и размеров крепежных отверстий.**

Кроме этого в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» и решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 N 877 (ред. от 28.05.2015) «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств», а так же «Правил ЕЭК ООН» № 124 колеса к транспортным средствам не подлежат ремонту в процессе эксплуатации [39, 40, 41].

Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что на всех предоставленных представителями Истца колесных дисках имеются дефекты в виде трещин различной глубины, а один диск разрушен с утратой фрагментов.

Для ответа на вопрос Суда относительно причин разрушения колесных дисков транспортного средства МК-1441-14 на шасси ГАЗ (VIN) XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX гос.рег.знак XXXXXXXXXXXX (производственная или эксплуатационная) обратимся к положениям по расчетам и экспериментальным исследованиям, которые проводились многими учеными и исследователя [35].

Прочность автомобильного колеса определяет безаварийность и безопасность эксплуатации автомобиля в целом. Нагрузки, действующие на колесо в процессе эксплуатации, зависят от различных факторов и, прежде всего, от массы, скорости и условий движения автомобиля, которые определяются в основном типом дороги и качества дорожного покрытия [35].

Для оценки прочности колеса, как на стадии проектирования, так и в процессе создания опытных образцов и сертификации колес используют расчетные методы анализа напряженно-деформированного состояния и стендовые испытания (экспериментальные исследования).

Автомобильное колесо представляет собой сложную осесимметричную конструкцию, состоящую из тонкостенного оболочечной конфигурации обода (для установки шины) и диска (для крепления к ступице). Жесткость колеса в плоскости его вращения существенно выше его изгибной жесткости. Общая конструкция неразъемного колеса показана на рис. 65.

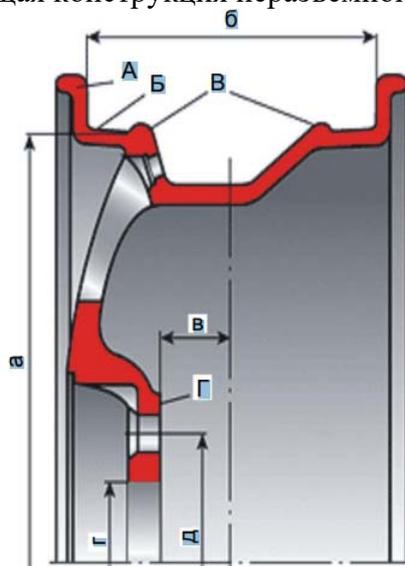


Рис. 1. Основные элементы и размеры колеса легкового автомобиля:

А – закраина обода; Б – полка; В – кольцевые выступы («хампы»); Г – плоскость крепления колеса к ступице; а – монтажный диаметр колеса; б – ширина обода; в – вылет; г – диаметр центрального отверстия под ступицу; д – диаметр окружности расположения крепежных болтов (шпилек)

Определяющими для обода размерами служат монтажный (посадочный) диаметр (а) и ширина профиля обода (б). Размеры обода обычно обозначаются в дюймах, например 4,5Jx13H, где первое число обозначает ширину обода, буква J – форму его профиля (встречаются также обозначения E, L, K), а последнее число - монтажный диаметр колеса, соответствующий размеру шины. Возможное дополнительное обозначение H или H2 означает наличие на ободе одного или двух хампов, которые предназначены для предотвращения спадания бортов шины в монтажный ручей обода при боковом ударе или при движении на повороте с пониженным внутренним давлением воздуха в шине, препятствуя тем самым мгновенному выходу воздуха. Вылет колеса (в) обозначается как ET и приводится в миллиметрах. Диаметр центрального отверстия (г) и диаметр расположения отверстий под крепежные болты или шпильки (д) отечественные производители в маркировку обычно не включают, а зарубежные обозначают соответственно DIA и PCD.

### Условия эксплуатации колес

В процессе эксплуатации колеса автомобилей подвергаются различным нагрузкам, которые влияют на прочность, долговечность, надежность колеса.

Нагрузки, действующие на колесо, зависят от самых различных факторов и в первую очередь от скорости и условий движения автомобиля и качества дорожного покрытия, массы автомобиля (нагрузка на ось), массы шины, радиусов качения [36]. Высокие нагрузки, действующие на колеса, приводят к накоплению повреждений в материале конструкции, и, как следствие, могут привести к появлению трещин и разрушению. Повреждения колеса могут быть связаны с действием на него циклически действующих усилий при обычном движении по дороге и рассматриваются как усталостные, а также могут быть следствием однократного или нескольких приложений ударных нагрузок.

Циклические нагрузки, действующие на колесо связаны с его вращением при линейном движении по дороге с неровностями. Циклические нагрузки на колесо действуют при движении автомобиля по криволинейным траекториям, усилия воздействуют на колесо из-за давления воздуха в шине и натяга ее бортов на посадочных полках. Закрепление колеса на ступице приводит к появлению дополнительных контактных усилий в местах крепления [36].

Если переменные усилия в конструкции при движении колеса значительны, то при длительной эксплуатации они могут привести к накоплению усталостных повреждений в материале конструкции и преждевременному появлению усталостных трещин и разрушению колеса.

При эксплуатации автомобиля достаточно часто возникают аварийные ситуации, связанные с наездом колеса на препятствия ступенчатого типа (бордюры, неровности, выбоины и т.п.), наезды на ограждения безопасности, столкновения с другим АТС, т.е. ударные нагружения. Усилия, действующие на колесо при ударе, обычно существенно превышают усилия, действующие на колесо при обычном движении автомобиля по дороге, и могут привести к изменению формы (биению), деформации ободной части и утечке воздуха из шины, появлению трещин и даже к частичному или полному разрушению колеса [37, 38].

### Нагрузки, действующие на колесо

Общая характеристика внешних сил, действующих на колесо, приведена на рис. 2 [36], где для описания всех действующих сил использована декартова система координат  $ZYX$ , начало которой расположено в точке пересечения диаметральной плоскости колеса (плоскость вращения) и оси его вращения, что обеспечивает совпадение осей координат с главными осями инерции колеса. Причем ось  $Z$  направлено вертикально, ось  $X$  – горизонтально в плоскости вращения колеса, ось  $Y$  – горизонтально, перпендикулярно плоскости колеса. На колесо действует вектор внешних сил  $F$ , компоненты которого направлены вдоль осей  $ZYX$  и моменты  $M_x$ ,  $M_y$  и  $M_z$  относительно осей  $ZYX$ . В зоне контакта колеса с дорогой возникают реакции  $R_x$ ,  $R_y$  и  $R_z$ .

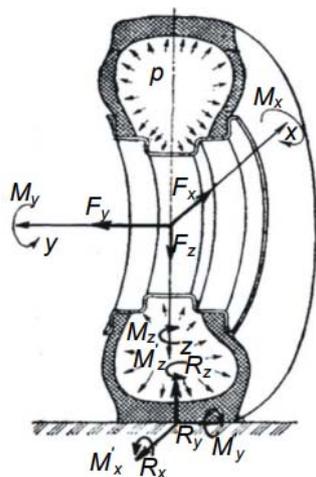


Рис. 2. Схема внешних сил, действующих на колесо

К внешним силам, моментам и реакциям, приложенным к катящемуся колесу со стороны автомобиля, относят составляющие равнодействующей всех сил, направленных перпендикулярно соответственно опорной, поперечной и продольной плоскостям колеса, а именно:

- нормальная (радиальная) сила  $F_z$ , приложенная вертикально к оси вращения колеса в сторону опорной поверхности (дороги) и представляющая собой часть веса автомобиля с грузом, приходящегося на колесо. Эта сила является максимально допустимой статической нагрузкой на колесо данного типоразмера;

- продольная (окружная) сила  $F_x$ , направленная горизонтально в плоскости вращения колеса, и определяемая режимом движения автомобиля (торможение или ускорение);

- боковая (осевая) сила  $F_y$ , направленная горизонтально вдоль оси вращения колеса. На горизонтальном и ровном основании осевые силы являются следствием действия боковых сил, например центробежной силы при повороте автомобиля, обусловленной поперечным наклоном дороги. На неплоской поверхности, выпуклой или вогнутой, и при движении по дороге, имеющей неровности, колеса также будут испытывать действие осевых сил;

- крутящий момент  $M_y$ , действующий относительно оси  $Y$  в плоскости вращения колеса, и определяющийся движущим моментом, передаваемым от двигателя по трансмиссии к колесу;

- поворачивающий момент  $M_z$ , действующий относительно оси  $Z$ , и возникающий при повороте машины в результате увода шин;

- опрокидывающий момент  $M_x$ , действующий относительно оси  $X$ , и возникающий вследствие наклона плоскости колеса к плоскости дороги.

Между колесом (с шиной) и дорогой от действия внешних сил и моментов возникают реакции дороги, распределенные по пятну контакта. Распределенные силы реакций описываются их равнодействующими, приложенными в центре пятна контакта, являющимся точкой пересечения трех взаимно перпендикулярных плоскостей: плоскости вращения колеса, плоскости дороги и вертикальной плоскости, проходящей через ось вращения колеса:

- реакция  $R_z$  является проекцией равнодействующей нормальных сил в направлении оси  $Z$ ;

- реакция  $R_x$  является равнодействующей перпендикулярных к поперечной плоскости колеса всех элементарных реакций;

- реакция  $R_y$  является проекцией равнодействующих сил в контакте шины с опорной поверхностью на направление оси вращения колеса.

Необходимо отметить, что:

- при некоторых условиях на внешнем по отношению к центру поворота колесе может быть сосредоточена радиальная нагрузка, в два раза превышающая статическую;

- независимо от режима движения осевая сила на наружном колесе всегда больше, чем на внутреннем. Кроме того, с увеличением интенсивности бокового возмущения величина осевой силы на наружном колесе растет быстрее, чем на внутреннем.

В случае, если траектория движения автомобиля является прямолинейной, на колесах могут возникать значительные осевые силы, величина которых зависит от коэффициента трения шины с опорной поверхностью. Таким образом, криволинейное движение является наиболее экстремальным случаем нагружения колес из всех режимов движения автомобиля по гладкой дороге.

Основными силовыми факторами, создающими напряженность диска, являются радиальные и осевые силы  $F_z$  и  $F_y$ . Радиальная сила  $F_z$  на НДС диска влияет незначительно, ввиду большой жесткости диска в радиальном направлении, а потому ею можно пренебречь. Что же касается момента этой силы  $M_z$ , равно как и момента осевой силы  $M_y$ , а также самой осевой силы  $F_y$ , то влияние этих силовых факторов на НДС наиболее существенно. Когда моменты от этих сил совпадают по направлению, диск колеса будет испытывать максимальные напряжения, что соответствует случаю движения автомобиля по криволинейной траектории.

Суммарный момент, действующий на колесо, зависит от внешних сил, динамического радиуса колеса и вылета обода [35].

Определение нагрузок на колесо производилось рядом исследователей экспериментально с использованием тензометрической аппаратуры и токоъемных устройств различного типа. На основе экспериментальных исследований приняты эмпирические зависимости для определения действующих на колесо усилий, приближенные зависимости для описания усилий, действующих на обод колеса от контакта с шиной и давления воздуха в шине [36, 37] и пр., которые используются в расчетном анализе НДС в колесе при движении по дороге и при составлении программ стендовых испытаний.

Усилия при ударных воздействиях принимаются на основании анализа статистических данных о разрушении колес при ударе, анализа энергии удара колеса автомобиля о препятствие, которое зависит от скорости движения автомобиля и его массы.

В зависимости от направления и угла взаимодействия колеса с препятствием различают следующие типы удара:

- прямой удар, который происходит при наезде на препятствие при прямолинейном движении автомобиля, и характеризуется приложением нагрузки к ободу колеса в плоскости его вращения под углом в  $90^\circ$  к оси вращения колеса;

- косой удар, который происходит при наезде на препятствие при заносе или столкновении с другим автомобилем, и характеризуется приложением нагрузки к закраине обода колеса под углом в  $13^\circ$  или  $30^\circ$  к оси его вращения;

- боковой (осевой) удар, который происходит при боковом наезде на препятствие и направление которого совпадает с осью вращения колеса.

В процессе производства настоящего исследования эксперт рассматривал несколько причин, по которым на предоставленных эксперту колесных дисках могли образоваться дефекты в виде трещин и разрушений с утратой фрагментов. Среди них следующие:

1. Некачественный материал колесных дисков.

2. Несоответствие момента затяжки колесных болтов требованиям завода-изготовителя.

3. Неудовлетворительное качество дорожного покрытия, по которому эксплуатируется автомобиль.

4. Превышение максимально допустимой полной массы транспортного средства (перегруз).

Рассмотрим каждую из вышеуказанных возможных причин образования дефектов на исследуемых дисках более подробно.

### **1. Некачественный материал колесных дисков.**

Необходимо отметить, что колеса автомобилей, как в России, так и за рубежом, подвергаются обязательным экспериментальным проверкам в соответствии с нормативными требованиями (ГОСТами, ОСТами, Регламентами). Эти испытания проводятся как на стадии опытных образцов новых колес с целью их доводки, так и непосредственно при изготовлении серийных партий. Европейская экономическая комиссия (ЕЭК) в сотрудничестве с технической организацией европейских производителей шин и колес в 1975 г. приняла Правило №124 ЕЭК ООН, определяющее типовые испытания шин и колес и их дополнительные обозначения, необходимые для проведения этих испытаний.

Сертификационные испытания колес проводятся с целью установления прочностных свойств колеса нормативным документам.

В общей характеристике испытанного колеса должны быть приведены также следующие механические характеристики материала: предел текучести или непропорционального удлинения, т.е. напряжение, при котором непропорциональное удлинение (остаточная деформация) равно установленному проценту длины базы тензометра. Используемый символ дополняют индексом, указывающим предписанное значение остаточного удлинения, например  $\zeta_{0,2}$ ; предел прочности  $\zeta_B$ , т.е. напряжение, соответствующее максимальному усилию при разрушении контрольного образца; относительное удлинение  $\delta$ , т.е. отношение разности длин контрольного образца после достижения момента разрыва и до начала растяжения ( $L_u - L_0$ ) к длине контрольного образца до начала растяжения  $L_0$ , где  $L_u$  – длина контрольного образца после разрыва при приложении растягивающего напряжения.

Из вышесказанного очевидно, что понимание из какого именно материала изготовлены исследуемые колесные диски транспортного средства является важным моментом при их исследовании.

11.02.2022 г. эксперт направил в Суд ходатайство о разрешении использования разрушающего метода при исследовании дефектов на транспортном средстве МК-1441-14 на шасси ГАЗ (VIN) х89144114J0AA3448 гос.рег.знак У435ВМ136. 22.02.2022 г. Суд определил **отказать** НТЦ «АВТОТЕХ» при ФГБОУ ВО "ВГТУ" в части применения разрушающего метода исследования, в связи с возражениями истца.

В этой связи эксперт не имел возможности провести (определить):

- макро и микроскопический анализ материала;
- химический состав материала, в частности определить из какого материала изготовлены исследуемые колесные диски;
- фрактографический анализ (анализ изломов) материала;
- твердость материала.

## **2. Несоответствие момента затяжки колесных болтов требованиям завода-изготовителя.**

Для того, чтобы правильно установить колеса, необходимо при помощи динамометрического ключа равномерно закрутить колесные болты и гайки до рекомендованного момента затяжки. Каждый автопроизводитель устанавливает собственное усилие затяжки колесных болтов, измеряемое в Ньютон-метрах (НМ).

Момент затяжки – это усилие, которое прикладывается к резьбовому соединению при его закручивании. Если закрутить крепеж с меньшим усилием, чем это необходимо, то, под воздействием вибраций, резьбовое соединение может раскрутиться, не обеспечивая нужную герметичность между скрепляемыми деталями, что может привести к тяжелым последствиям. Наоборот, если приложить к метизу большее усилие, чем требуется, произойдет разрушение резьбового соединения или скрепляемых деталей, например, может произойти срыв резьбы или появление трещин в деталях, например на колесных дисках.

Перетяжка болтов может вызвать обрыв резьбы. Сначала образуются трещины, которые разрастаются под нагрузками. А затем при ударах на ямах колесо обрывает резьбу. Болт ослабевает и не может держаться в ступице.

При совместном воздействии различных нагрузок наблюдается износ резьбовых соединений, проявляющийся следующим образом:

- болты и винты растягиваются; удлиняется в результате действия осевых рабочих нагрузок и усилий затяжки стержень болта;
- шаг резьбы и ее профиль нарушаются; изменяется профиль резьбы по среднему диаметру
- увеличивается зазор (наблюдается у винтов и часто отвертываемых крепежных болтов);
- гайки «заедают» (изменяется под действием осевых рабочих нагрузок шаг резьбы);
- износ граней головок болтов и гаек.
- сминаются под действием рабочих нагрузок рабочие поверхности профиля резьбы.

Таким образом, **предположение о несоответствии момента затяжки колесных болтов требованиям завода-изготовителя не соответствует результатам экспертного осмотра и не является причиной образования трещин на колесных дисках.**

## **3. Неудовлетворительное качество дорожного покрытия, по которому эксплуатируется автомобиль.**

Безопасность эксплуатации автомобилей определяется прочностью и надежностью колес при нагрузке, которая во многих случаях носит ударный характер. Ударные воздействия возникают при движении по неровностям, при наезде на препятствие, при боковом заносе и ударе о препятствие, при столкновении с другим автомобилем и пр. Статистические исследования показывают, что средний угол наезда на препятствие составляет 27,6°, а наибольшие деформации при ударе возникают в середине диска с наружной стороны колеса [30].

Полученные результаты испытаний на удар [30] позволили оценить рассеяние энергии колебаний (внутренне трение) в материале колеса. После воздействия ударного импульса наблюдаемые колебания деформаций в точках измерения представляют собой затухающие процессы, близкие к гармоническим, с практически постоянным периодом  $T$ , мало зависящим от амплитуды колебаний. Причем периоды этих колебаний и отношение амплитуд для соответствующих моментов времени в различных точках измерения оказались также одинаковыми. Все это свидетельствует о линейном характере колебаний колеса, вызванных однократным ударом.

Также исследования показывают, что стальной диск из-за небольшого внутреннего демпфирования не рассеивает часть энергии при ударе, которая передается далее на подвеску и на другие конструктивные элементы автомобиля [30].

На основании всего вышесказанного **нельзя исключать возникновения трещин на предоставленных на экспертный осмотр колесных дисках из-за эксплуатации транспортного средства по дорогам с ямами и выбоинами, которые в избытке присутствуют в г. Павловске Воронежской области.**

#### **4. Превышение максимально допустимой полной массы транспортного средства (перегруз).**

Перед рассмотрением данной причины возможного образования дефектов на предоставленных колесных дисках транспортного средства необходимо обратиться к Руководству по эксплуатации мусоровозов серии МР4 [12], в котором сказано следующее:

*В связи с различным морфологическим составом твердых бытовых отходов и их компрессионных характеристик в различных климатических зонах и по сезонам года, а также энергетической возможностью механизма прессования по обеспечению коэффициента прессования до 3, при эксплуатации необходимо предотвратить осевой или общий перегруз транспортного средства в целях выполнения требований Технического Регламента Таможенного Союза ТР ТС 018/2011 п.п. 2.1, 2.2 приложения 5, контролируя количество загруженных отходов. Ответственность за превышение осевых нагрузок или полной массы транспортного средства, возлагается на эксплуатирующую организацию.*

При этом тоже Руководство [12] предписывает, как необходимо правильно взвешивать мусоровоз.

В исследуемом транспортном средстве диск колеса через ступицу связан с подвеской, которая служит для смягчения ударов и толчков, воспринимаемых колесами от неровностей дороги, гасит колебания рамы и снижает динамические нагрузки на несущую систему.

Независимо от того, движется автомобиль, или он неподвижен, на него действует сила тяжести (вес), направленная отвесно вниз. Сила тяжести прижимает колеса автомобиля к дороге. Равная ей и направленная вверх действует сила реакции дороги (рис. 2). Масса автомобиля (как полная, так и снаряженная) рассчитывается следующим соотношением: нагрузка на заднюю ось + нагрузка на переднюю ось. В исследуемом автомобиле на заднюю ось приходится большая часть нагрузки, нежели на переднюю из-за того, что сзади расположен отсек для загрузки мусора, а на переднюю часть идет в основном нагрузка от силового агрегата и кабины. Из общей теории автомобилестроения известно, чем больше масса автомобиля, тем большая нагрузка ложится на все детали подвески транспортного средства, а также шины и колесные диски.

Говоря о превышении максимально допустимой полной массы транспортного средства (перегруз) нельзя не обратить внимание на состояние рамы исследуемого автомобиля. Напомним, что в процессе экспертного осмотра была выявлена трещина на правом лонжероне рамы (илл.41, 42). Рама грузового автомобиля во время работы испытывает статические и динамические нагрузки. К статическим воздействиям относятся веса собственный и перевозимого груза (мусора), реакции рессор автомобиля. При движении автомобиля по дорогам, а также при его загрузке грузом (мусором) рама подвергается динамическому нагружению. Соответственно, при превышении максимально допустимой полной массы автомобиля нагрузка на раму, подвеску, ступицы и колеса возрастает, что может привести к образованию дефектов на этих компонентах транспортного средства. Именно такую картину мы и наблюдали в процессе экспертного осмотра исследуемого транспортного средства – трещина на раме и трещины на колесных дисках.

Безусловно следует обратить внимание на еще один очень важный момент. Согласно [12] исследуемое транспортное средство имеет технологическую вместимость кузова  $8,0 \pm 0,2 \text{ м}^3$ , при грузоподъемности 1785 кг. Морфологический состав твердых бытовых отходов, которые транспортируются на исследуемом мусоровозе, различный. Из диалога с сотрудниками ООО «ВЕГА» эксперту известно, что сортировкой мусора они не занимаются, а летний период в качестве мусора попадают кирпичи и ветви деревьев. Очевидно, что масса  $1 \text{ м}^3$  кирпичей и например, бумажных или целлофановых пакетов сильно отличается. При этом водитель-оператор мусоровоза не отслеживает массу собираемого мусора, чем **нарушает условия эксплуатации транспортного средства** представленные выше, а именно при эксплуатации необходимо предотвратить осевой или обций перегруз транспортного средства в целях выполнения требований Технического Регламента Таможенного Союза ТР ТС 018/2011 п.п. 2.1, 2.2 приложения 5, контролируя количество загруженных отходов. При этом производитель исследуемого транспортного средства прописал в Руководстве [12], как необходимо правильно взвешивать мусоровоз.

Попытки исправить ситуацию по отслеживанию массы собираемого мусора (например, оснащение мусоровозов системами ГЛОНАСС) уже предпринимались, но были только частичными решениями [44]. Внедрение таких «полумер» приводило к дополнительным расходам, но не позволяло решить проблему: с помощью систем навигации можно проследить маршрут мусоровоза, зафиксировать его отклонения от заданного маршрута и его остановки вне мест сбора и разгрузки отходов, но нельзя определить ни массу, ни состав образующихся, перевозимых и сгружаемых отходов.

Получить необходимую информацию можно только при непременном выполнении двух условий: 1) использование только одной учетной единицы, которой должна быть масса, выраженная в тоннах (никаких кубометров!); 2) учет ТБО (в тоннах) на всех участках маршрута, начиная от мест их образования и сбора и заканчивая местами перегрузки, сортировки, переработки и размещения отходов на полигоне.

Заинтересованность операторов в получении достоверной информации о массе собранных и перевозимых отходов привели к созданию автоматизированных систем, основанных на применении стационарных счетчиков – регистраторов массы автотранспортных средств на въезде (выезде) в виде электронных устройств, устанавливаемых на весовой платформе и действующих при участии водителя.

Кроме этого систему весового контроля можно установить на борту мусоровоза [18]. Применительно к мусоровозам используются два варианта установки тензодатчиков: 1) между кузовом и рамой шасси; 2) на кронштейнах опрокидывателя контейнеров. Мусоровоз оснащается антеннами для организации связи по системе GPS/ГЛОНАСС и обеспечения бесконтактной идентификации мусоровоза, контейнеров и бункеров. В кабине водителя устанавливается терминал сопровождения системы.

На основании всего вышесказанного **нельзя исключать возникновения трещин на предоставленных на экспертный осмотр колесных дисках из-за эксплуатации транспортного средства с превышением максимально допустимой полной массы транспортного средства (перегруз)**.

На основании всего высказанного эксперт пришел к выводу, что причиной разрушения колесных дисков транспортного средства МК-1441-14 на шасси ГАЗ (VIN) х89144114J0AA3448 гос.рег.знак У435ВМ136 является превышение предельных нагрузок действующих на диски по причине эксплуатации транспортного средства по дорогам с ямами и выбоинами и/или эксплуатации мусоровоза с превышением максимально допустимой полной массы (перегруз). Выявленные дефекты колесных дисков носят эксплуатационный характер.

----- **Вопрос № 3** -----

Экспертный осмотр предоставленных колесных дисков и колес (шины с дисками) транспортного средства МК-1441-14 на шасси ГАЗ (VIN) XXXXXXXXXXXXXXXX гос.рег.знак XXXXXXXXXXXXXXXX позволяет говорить о том, что предоставленные колесные диски (илл.7) могут устанавливаться на исследуемый мусоровоз, т.к. имеют идентичные параметрами с установленными на машине дисками (вылет, размерность, производитель и др.). При этом определить были ли предоставленные колесные диски установлены на автомобиле МК-1441-14 на шасси ГАЗ (VIN) XXXXXXXXXXXXXXXX гос.рег.знак У435ВМ136 не представляется возможным, т.к. на дисках отсутствуют уникальные идентификационные (порядковые) номера (как, например, на блоке цилиндров двигателя). Эксплуатироваться вместе до разрушения с момента продажи диски не могли, т.к. на осмотр было предоставлено 5 дисков, а одновременно на автомобиль можно установить только 4 диска.

===== **В Ы В О Д Ы** =====

**По результатам проведенной экспертизы необходимо сделать следующие выводы:**

----- **Вопрос № 1** -----

На всех предоставленных представителями Истца колесных дисках имеются дефекты в виде трещин различной глубины, а один диск разрушен с утратой фрагментов. Колесные ступицы на осмотр не предоставлялись.

----- **Вопрос № 2** -----

Причиной разрушения колесных дисков транспортного средства МК-1441-14 на шасси ГАЗ (VIN) XXXXXXXXXXXXXXXX гос.рег.знак XXXXXX является превышение предельных нагрузок действующих на диски по причине эксплуатации транспортного средства по дорогам с ямами и выбоинами и/или эксплуатации мусоровоза с превышением максимально допустимой полной массы (перегруз). Выявленные дефекты колесных дисков носят эксплуатационный характер.

----- **Вопрос № 3** -----

Определить были ли предоставленные колесные диски установлены на автомобиле МК-1441-14 на шасси ГАЗ (VIN) XXXXXXXXXXXXXXXX гос.рег.знак XXXXXX не представляется возможным. Эксплуатироваться вместе до разрушения с момента продажи диски не могли.

Библиографический список

1. Определение о приостановлении производства по делу и назначении судебной экспертизы по делу № XXXXXXXXXXXXXXXX от “20” декабря 2021 г.
2. Копия претензии.
3. Копия договора купли-продажи № XXXXXXXXXXXXXXXX от 30.11.2018 г. с приложениями к нему.
4. Копия доп. Соглашения № 1 от 28.12.2018 г. к договору с приложениями к нему.
5. Копия договора лизинга № XXXXXXXXXXXXXXXX от 30.11.2018 г.
6. Копия дополнительного соглашения № 1 от 28.12.2018 г. к договору лизинга.
7. Копия заключения специалиста № 30/10 от 11.11.2020 г.

8. Копия счет-фактуры № XXXXXXXXXX от 20.07.2020 г.
9. Копия товарной накладной № XXXXXXXXXXXXXX от 20.07.2020 г.
10. Копия акта приема передачи от 02.03.2019 г.
11. Копия договора сублизинга № XXXXXXXX от 02.03.2019 г.
12. Руководство по эксплуатации мусоровозов серии МР4.
13. Копии заказ нарядов, актов выполненных работ к ним, копия свидетельства о регистрации ТС, копия паспорта транспортного средства.
14. Заключение эксперта № 24/12 от 30.09.2021 г.
15. О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации: Федеральный Закон от 31 мая 2001 № 73-ФЗ [Текст] // Российская газ. – 2001. – 05.06. – С. 3.
16. Об утверждении правил оказания услуг (выполнения работ) по техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств: Постановление Правительства РФ от 11 апреля 2001 № 290 / Российская газ. – 2001. – 13.05. – С. 2.
17. Беляева, Л. Д. Современные возможности экспертиз : методическое пособие для экспертов, следователей и судей / Л. Д.Беляева, А. Ю. Бутырин, Ю. М. Воронков – М. : Триада-Х, 2000.
18. Демокритов В.Н. и др. Основы проектирования машин. : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 236 С.
19. Березин, С.В. Справочник автомеханика / С. В. Березин. – М. : Феникс 2008 – 346 с.
20. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В 3-х т. Т.2 - 9-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И. Н. Жестковой. – М. : Машиностроение, 2006. – 960 с.
21. Основные положения по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения: Постановление Правительства РФ от 23 октября 1993 №1090 / Российская газ. – 1993. – 06.11. – С. 3.
22. Замиховский, М. И. Исследование недостатков автомобилей, находящихся в эксплуатации : методическое пособие для экспертов и судей / М. И. Замиховский, А. В. Рузский, Ю. М. Воронков – М. : ИПК РФЦСЭ, 2006.
23. ГОСТ 15467-79. «Управление качеством продукции. Основные понятия, требования и определения» (понятия - производственный явный, скрытый устранимый и неустранимый дефект).
24. Евтюков С.А., Гальцев Ю.В., Колкутин В.В., Рябинин Г.А., Метрологический справочник для судебных экспертов и адвокатов, С-Пб, «ДНК», 2007 г.
25. Вахламов, В. К. Автомобили, конструкции и элементы расчёта / В. К. Вахламов. – М.: Академия, 2006. – 408 с.
26. Стуканов, В. А. Литые алюминиевые колёса для легковых автомобилей: проектирование, изготовление, контроль качества / В. А. Стуканов // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 9. – С. 29-31.
27. Балабин, И. В. Расчёт напряжённно-деформированного состояния диска автомобильного колеса / И. В. Балабин // Автомобильная промышленность. – 2001. – № 6. – С. 18-19.
28. Кнороз, В. И. Шины и колеса / В. И. Кнороз. – М.: Машиностроение, 1975. – 183 с.
29. Демьянушко, И. В. Литые автомобильные колёса для легковых автомобилей / И. В. Демьянушко // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 9. – С. 29-31.
30. Демьянушко, И. В. Расчёт и экспериментальное исследование напряжённно-деформированного состояния автомобильных колёс на статическую нагрузку / И. В. Демьянушко. – М.: МАДИ, 2014. – 48 с.
31. Балабин, И. В. Автомобильные и тракторные колёса и шины / И. В. Балабин. – М.: МАМИ, 2012. – 920 с.
32. Балабин, И. В. Напряжённно-деформированное состояние колеса с учётом влияния изгибающего момента и осевой силы / И. В. Балабин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 37. – С. 18-20.

33. Балабин, И. В. Анализ влияния жёсткости обода на его силовое взаимодействие с пневматической шиной / И. В. Балабин // Автомобильная промышленность. – 2011. – № 12. – С. 20-23.

34. Постановление Правительства РФ от 21 февраля 2002 г. N 127 "О внесении изменений и дополнений в постановление Совета Министров - Правительства Российской Федерации от 23 октября 1993 г. N 1090".

35. Расчет и экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния автомобильных колес на статическую нагрузку: учеб. пособие / И.В. Демьянушко, Е.М. Логинов, В.В. Миронова. – М.: МАДИ, 2014. – 48 с.

36. Автотракторные колеса: справочник / под общ. ред. И.В. Балабина. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.

37. Демьянушко, И.В. Колеса из легких сплавов – от эскиза до металла / И.В. Демьянушко // Автомобильная промышленность. – 1999. – №7. – С. 9–10.

38. Исследование литого алюминиевого колеса автомобиля на ударное воздействие / И.В. Демьянушко, Н.И. Батрак, А.М. Вахромеев, В.В. Миронова // Вопросы строит. механики и надежности конструкций: сб. науч. тр. МАДИ. – 2010. – С. 5–19.

39. Правила ЕЭК ООН N 124 "Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения колес для легковых автомобилей и их прицепов" (с изменениями и дополнениями).

40. Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 N 877 (ред. от 28.05.2015) «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств»».

41. Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ (ред. от 28.11.2015) «О техническом регулировании»

42. ГОСТ Р 50511-93. Колеса из легких сплавов для пневматических шин. – М.: Госстандарт России, 1993. – 23 с.

43. Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. – 416 с.

44. Мхитаров Р.А. Весовой контроль сбора и транспортирования ТБО / Мхитаров Р.А., Аминова Ю.Р., Плющ Л.В. // Твердые бытовые отходы. – 2014. – №3. – С. 32–39.

45. [Электронный ресурс]. URL: <http://kommunalnaya-tehnika.ru/musorovozy-s-zadnej-zagruzkojscania/216-musorovoz-rg-30-s-sistemoy-vzveshivaniya-scania.html>.

## References

1. The ruling on the suspension of proceedings in the case and the appointment of a forensic examination in case No. XXXXXXXXXXXXX dated December 20, 2021.

2. A copy of the claim.

3. A copy of the contract of sale No. XXXXXXXXXXXXX dated 30.11.2018 with appendices to it.

4. A copy of the addendum. Agreement No. 1 dated 12/28/2018 to the agreement with appendices thereto.

5. A copy of the lease agreement no. XXXXXXXXXXXXX dated 30.11.2018.

6. A copy of the supplementary agreement No. 1 dated 12/28/2018 to the leasing agreement.

7. A copy of the expert's opinion No. 30/10 dated 11.11.2020.

8. Copy of invoice no. XXXXXXXXXXXXX dated 20.07.2020

9. A copy of the consignment note no. XXXXXXXXXXXXX dated 20.07.2020.

10. A copy of the transfer acceptance certificate dated 02.03.2019.

11. A copy of the subleasing agreement No. XXXXXXXXX dated 02.03.2019.

12. Operating manual for garbage trucks of the MP4 series.

13. Copies of work orders, acts of work performed to them, a copy of the certificate of registration of the vehicle, a copy of the passport of the vehicle.
14. Expert opinion No. 24/12 of 30.09.2021
15. On State Forensic Expert Activity in the Russian Federation: Federal Law No. 73-FZ of May 31, 2001 [Text] // Russian gas. - 2001. - 05.06. - p. 3.
16. On approval of the rules for the provision of services (performance of works) on maintenance and repair of motor vehicles: Formation of the Government of the Russian Federation No. 290 dated April 11, 2001 / Russian Gas. - 2001. - 13.05. - P. 2.
17. Belyaeva, L. D. Modern possibilities of expertise : a methodological guide for experts, investigators and judges / L. D. Belyaeva, A. Y. Butyrin, Y. M. Voronkov - M. : Triad-X, 2000.
18. Democritov V.N. et al. Fundamentals of machine design. : studies. po-sobie for students. higher. studies. institutions / Ulyanovsk: UISTU, 2007-- - 236 P.
19. Berezin, S.V. Handbook of automechanics / S. V. Berezin. - M. : Phoenix 2008 - 346 p.
20. Anuryev V.I. Handbook of a machine-building designer / In 3 vols. Vol. 2 - 9th ed., reprint. and additional / Edited by I. N. Zhestkova. - M. : Mashinostroenie, 2006-- - 960 p.
21. The main provisions on the admission of vehicles to operation and the duties of officials to ensure road safety: Decree of the Government of the Russian Federation of October 23, 1993 No. 1090 / Russian Gas. - 1993. - 06.11. - p. 3.
22. Zamikhovsky, M. I. Investigation of the shortcomings of cars in operation : a methodological guide for experts and judges / M. I. Zamikhovsky, A.V. Ruzsky, Yu. M. Voronkov - M. : IPK RFTSSE, 2006.
23. GOST 15467-79. "Product quality management. Basic concepts, requirements and definitions" (concepts - production explicit, hidden removable and irremediable defect).
24. Yevtyukov S.A., Galtsev Yu.V., Kolkutin V.V., Ryabinin G.A., Metrological handbook for forensic experts and lawyers, S-Pb, "DNA", 2007.
25. Vakhlamov, V. K. Cars, constructions and calculation elements / V. K. Vakhlamov. - M.: Academy, 2006. - 408 p.
26. Stukanov, V. A. Cast aluminum wheels for passenger cars: design, manufacture, quality control / V. A. Stukanov // Automotive industry. - 2002. - No. 9. - pp. 29-31.
27. Balabin, I. V. Calculation of the stress-strain state of the disc of an automobile wheel / I. V. Balabin // Automotive industry. - 2001. - No. 6. - pp. 18-19.
28. Knoroz, V. I. Tires and wheels / V. I. Knoroz. - M.: Mashinostroye, 1975-- - 183 p.
29. Demyanushko, I. V. Cast automobile wheels for passenger cars / I. V. Demyanushko // Automotive industry. - 2002. - No. 9. - pp. 29-31.
30. Demyanushko, I. V. Calculation and experimental study of the stress-strain state of automobile wheels under static load / I. V. Demyanushko. - M.: MADI, 2014. - 48 p
31. Balabin, I. V. Automobile and tractor wheels and tires / I. V. Balabin. - M.: MAMI, 2012-- - 920 p.
32. Balabin, I. V. The stress-strain state of the wheel taking into account the influence of bending moment and axial force / I. V. Balabin // Tractors and agricultural machines. - 2002. - No. 37. - pp. 18-20.
33. Balabin, I. V. Analysis of the effect of rim stiffness on its force interaction with a pneumatic tire / I. V. Balabin // Automobile industry. - 2011. - No. 12. - pp. 20-23.
34. Resolution of the Government of the Russian Federation of February 21, 2002 N 127 "On Amendments and Additions to the Resolution of the Council of Ministers - the Government of the Russian Federation of October 23, 1993 N 1090".
35. Calculation and experimental study of the stress-strain state of automobile wheels under static load: textbook. manual / I.V. Demyanushko, E.M. Loginov, V.V. Mironova. - M.: MADI, 2014. - 48 p.

36. Automotive wheels: handbook / under the general editorship of I.V. Balabin. - M.: Mechanical engineering, 1985. - 272 p.
37. Demyanushko, I.V. Wheels made of light alloys - from sketch to metal / I.V. Demyanushko // Automotive industry. - 1999. - No. 7. - pp. 9-10.
38. Investigation of a cast aluminum car wheel on impact / I.V. Demyanushko, N.I. Batrak, A.M. Vakhromeev, V.V. Mironova // Questions builds. Mechanics and reliability of structures: Collection of Scientific tr. MADI. - 2010. - pp. 5-19.
39. UNECE Regulation No. 124 "Uniform regulations concerning the approval of wheels for passenger cars and their trailers" (with amendments and additions).
40. The decision of the Commission of the Customs Union of 09.12.2011 N 877 (ed. of 28.05.2015) "On the adoption of the technical regulations of the Customs Union "On the safety of wheeled vehicles".
41. Federal Law No. 184-FZ of 27.12.2002 (as amended on 28.11.2015) "On Technical Regulation"
42. GOST R 50511-93. Wheels made of light alloys for pneumatic tires. - M.: Gosstandart of Russia, 1993. - 23 p.
43. Biderman, V.L. Theory of mechanical vibrations / V.L. Bi-derman. - Izhevsk: SIC "Regular and chaotic dynamics", 2009. - 416 p.
44. Mkhitarov R.A. Weight control of collection and transportation of solid waste / Mkhitarov R.A., Amineva Yu.R., Plush L.V. // Solid household waste. - 2014. - No. 3. - pp. 32-39.
45. [Electronic resource]. URL: <http://kommunalnaya-tehnika.ru/musorovozy-s-zadnej-zagruzkoj-scania/216-musorovoz-rg-30-s-sistemoy-vzveshivaniya-scania.html>.

*Воронежский государственный  
технический университет  
Доцент кафедры строительной техники  
и инженерной механики имени профессора  
Н.А. Ульянова, к.т.н., доцент  
В.Л. Тюнин;  
Доцент кафедры строительной техники и  
инженерной механики имени профессора  
Н.А. Ульянова, к.т.н., доцент  
А.Н. Щиенко;  
Магистрант ВГТУ К.С. Щетилов;  
Студенты дорожно-транспортного  
факультета А.С. Гурова, В.С. Черников;  
Россия, г. Воронеж, тел. 8(473) 277-01-29*

*Voronezh State  
Technical University  
Associate professor of the chair of building en-  
gineering and engineering mechanics named  
after professor N.A. Ulyanova, Ph.D., associate  
professor V.L. Tyunin;  
Associate professor of the chair of building en-  
gineering and engineering mechanics named  
after professor N.A. Ulyanova, Ph.D., associate  
professor A.N. Shchienko;  
Undergraduate of VSTU K.S. Shchetilov;  
Students of the road and transport faculty  
A.S. Gurova, V.S. Chernikov  
Russia, Voronezh, tel. 8(473) 277-01-29*

В.Л. Тюнин, А.Н. Щиенко, К.С. Щетилов, А.С. Гурова, В.С. Черников

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ ОДНООСНОГО КОЛЁСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований скольжения одноосного движителя при криволинейном движении. Представлены зависимости радиуса качения, коэффициента проскальзывания и крутящего момента от радиуса поворота на грунтах разной прочности.

**Ключевые слова:** колёсный движитель, коэффициент проскальзывания, радиус поворота.

V.L. Tyunin, A.N. Shchienko, K.S. Shchetilov, A.S. Gurova, V.S. Chernikov

### **EXPERIMENTAL STUDIES OF SLIPPING OF A UNIAXIAL WHEEL MOVER**

The article presents the results of experimental studies of the sliding of a uniaxial mover in curvilinear motion. The dependences of the rolling radius, slip coefficient and torque on the turning radius on soils of different strength are presented.

**Key words:** wheel drive, coefficient of slippage, turning radius.

Значительную часть общего объёма работ при возведении объектов промышленного, гражданского и особенно дорожного строительства составляют земляные работы. В современных условиях выполнение земляных работ невозможно представить без широкого применения колёсных землеройно-транспортных машин [1]. Колёсные машины, обладают рядом преимуществ по сравнению с гусеничными машинами - более высокий ресурс ходового оборудования, реализация более высоких транспортных скоростей, существенное снижение металлоёмкости конструкции, эксплуатационных расходов и т.д.

Рассматривая основные характеристики, надо отметить, что скольжение пневматической шины в области контакта оказывает непосредственное влияние на тяговые качества ко-

лѐсных машин [2, 3, 4]. Скольжение оценивается коэффициентом проскальзывания центральной опорной точки колеса  $\theta_0$  и коэффициентом буксования  $\delta$ .

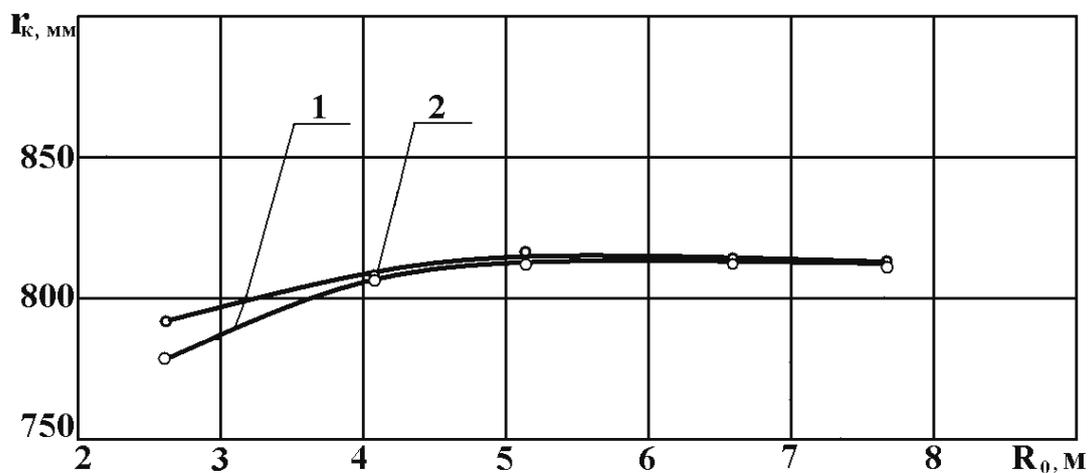
Все колѐсные землеройно-транспортные машины в ходовом оборудовании имеют ведущие мосты, которые представляют собой многоколѐсный движитель. Это более сложная механическая система, чем одиночное колесо, что создает более сложный характер процесса взаимодействия пневматических шин многоколесного движителя с опорной поверхностью и воздействие на движитель динамических возмущений, зависящих от многих факторов, возникающих при работе колесных машин. Следует также отметить, что на работу многоколесного движителя существенное влияние оказывает тип его привода и колесная схема.

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований скольжения одноосного движителя при криволинейном движении [5, 6]. Скольжение пневматических шин моста в области контакта оценивалось коэффициентом проскальзывания центральной опорной точки каждого колеса независимо друг от друга  $\theta_{01}$ ,  $\theta_{02}$  и моста в целом по коэффициенту проскальзывания условной центральной опорной точки  $\theta_{0y}$ , а также коэффициентами буксования  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_y$  соответственно.

Так как внутренняя и наружная шины моста в одном опыте всегда одинаковой модели и конструкции, а также вертикальная нагрузка по колесам моста распределена равномерно, то получим  $r_{C1} = r_{C2} = r_C$ , отсюда коэффициент проскальзывания центральной опорной точки:  $\theta_{01} = r_C / r_{K1}$  для внутреннего колеса;  $\theta_{02} = r_C / r_{K2}$  для внешнего колеса. Радиусы качения колес моста  $r_{K1}$ ,  $r_{K2}$ , находятся с учетом боковой деформации шин.

Анализ экспериментальных данных показывает (рис. 1), что с уменьшением  $R_0$  радиус качения уменьшается для всех моделей исследованных шин на всех исследуемых опорных поверхностях главным образом за счет возрастания их скольжения (буксования) в области контакта.

Характерно, что радиус качения забегающего (внешнего) колеса приблизительно равен радиусу качения отстающего (внутреннего) колеса практически на всѐм диапазоне изменения  $R_0$ . Предельные же отклонения между  $r_{K1}$  и  $r_{K2}$  зафиксированы на рыхлом грунте при  $R_0 = 2,65$  м и составляют 7 %. При этом следует отметить, что при движении моста с межколесным дифференциалом на цементобетоне значения  $\theta_{01}$ ,  $\theta_{02}$  изменяются в диапазоне от 0,98 до 1,06, а на грунтовых поверхностях  $\theta_{01} = \theta_{02}$ . Это позволяет считать вполне обоснованным принятое ранее допущение о равенстве радиусов качения при исследовании построения мощностного баланса многоколѐсного движителя, т.е.  $r_{K1} = r_{K2}$ .



**Рис. 1.** Изменение радиуса качения колѐс ведущего моста, снабжѐнного крупногабаритными шинами размером 21,00-28 мод. ДФ-27, от радиуса поворота на цементобетоне при  $G_m = 69,7$  кН и  $p_w = 0,3$  МПа: 1 – внутреннее колесо; 2 – внешнее колесо

При движении ведущего моста колесного тягача с заблокированным межколесным дифференциалом, элементы шины колеса, катящегося по внутреннему радиусу, в области контакта проскальзывают только в одном направлении, противоположном движению колеса, т.е. движутся с буксованием на всех исследуемых радиусах поворота. Элементы пневматической шины колеса, катящегося по внешнему радиусу, проскальзывают в направлении, совпадающем с направлением движения колеса, т.е. движутся юзом при изменении среднего радиуса поворота от 7,75 до 5,75 м. С уменьшением радиуса поворота менее 5,75 м элементы пневматической шины забегающего колеса начинают проскальзывать в области контакта в противоположном направлении, т.е. движение с буксованием и юзом, при этом зона буксования увеличивается, а зона юза уменьшается.

Блокирование межколёсного дифференциала характеризует более интенсивное уменьшение  $r_{KI}$  колёс ведущего моста, причём радиус качения забегающего колеса значительно выше, чем отстающего. Например, при  $R_0 = 2,75$  м на рыхлом грунте  $r_{K2}/r_{K1} = 1,8$ .

На рис. 2 построены зависимости  $\theta_{oy}$  от радиуса поворота, показывающие, что при уменьшении  $R_0$  коэффициент проскальзывания центральной опорной точки как внутреннего, так и внешнего колёс дифференциального моста увеличивается, что свидетельствует о возрастании интенсивности проскальзывания исследуемых шин в области контакта. Так же увеличение коэффициента проскальзывания центральных опорных точек происходит при увеличении давления воздуха в шинах. Такой характер взаимодействия колёс ведущего моста с опорной поверхностью определяет распределение крутящего момента, подводимого к колёсам ведущего моста, по полуосям (рис. 3).

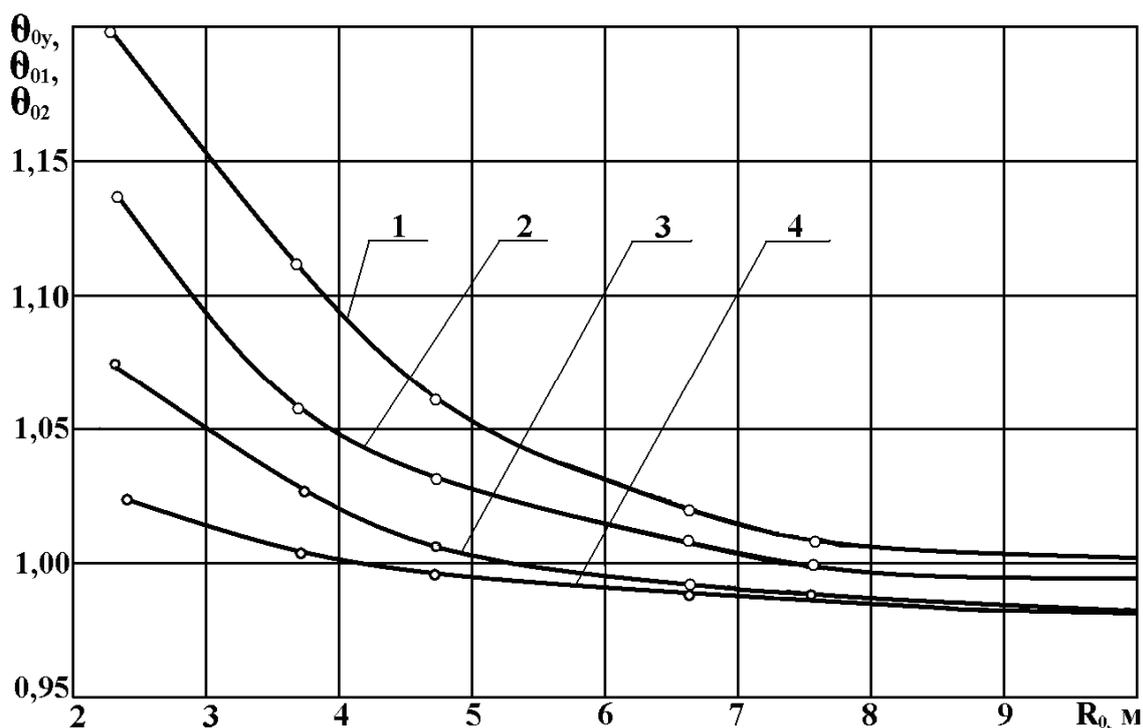
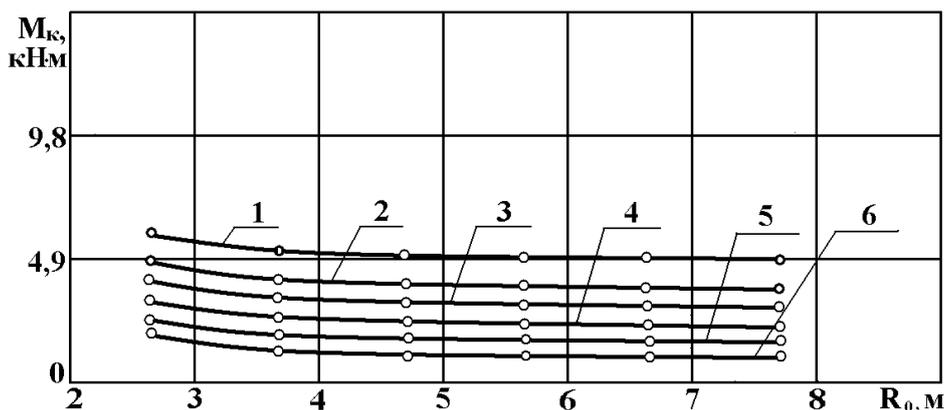


Рис. 2. Зависимость коэффициента проскальзывания  $\theta_o$  шин размером 21,00-28 мод. ДФ-27 ведущего моста от радиуса поворота при  $p_o = 0,3$  МПа на различных опорных поверхностях и  $G_m = 69,7$  кН: 1, 2 – рыхлый грунт; 3, 4 – цементобетон; 1, 3 – внутреннее колесо; 2, 4 – внешнее колесо

С уменьшением радиуса поворота величина крутящих моментов внутреннего и внешнего колёс ведущего моста с межколёсным дифференциалом увеличивается на исследуемой опорной поверхности.

Однако, при криволинейном движении ведущего моста внутреннее колесо, катящееся по меньшему радиусу поворота, испытывает большее сопротивление качению, чем внешнее (за счёт увеличения деформации шин, внутреннего трения в шинах и проскальзывания в области контакта), поэтому  $M_{K1}$ , подведённый к внутреннему колесу, несколько больше  $M_{K2}$ , подведённому к внешнему колесу.

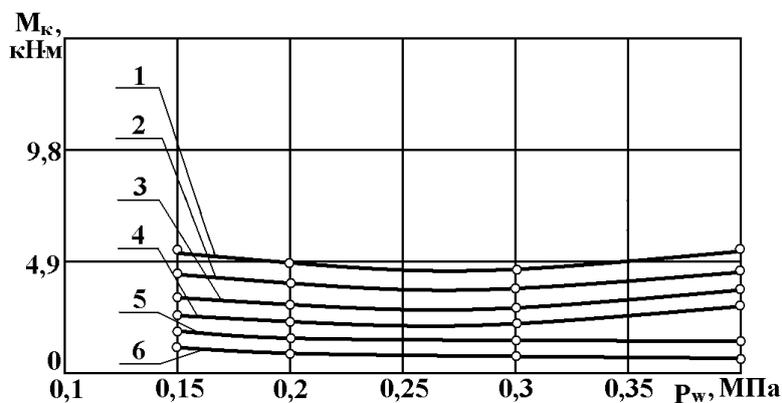
Увеличение крутящих моментов при уменьшении радиуса поворота на цементобетонной поверхности вызвано ростом всех видов деформаций шин, внутренних сил трения в шине и сил трения в зоне контакта вследствие проскальзывания элементов протектора относительно опорной поверхности.



**Рис. 3.** Изменение крутящих моментов на колесах ведущего моста в зависимости от радиуса поворота на различных опорных поверхностях при  $G_m = 107,9$  кН:  
 1, 2 – грунт насыпной рыхлый; 3, 4 – грунт связный уплотнённый; 5, 6 – цементобетон;  
 1, 3, 5 – внутреннее колесо; 2, 4, 6 – внешнее колесо

На срезанном уплотнённом грунте величина крутящих моментов незначительно возрастает из-за дополнительных затрат мощности на деформацию грунта. Величина крутящего момента на насыпном рыхлом грунте значительно возрастает вследствие увеличения деформации грунта и образования колеи.

Изменение крутящих моментов в зависимости от давления воздуха в шинах показано на рис. 4.



**Рис. 4.** Изменение крутящих моментов на колесах ведущего моста в зависимости от давления воздуха в шинах 21,00-28 мод. ДФ-27 на различных опорных поверхностях при  $G_m = 69,7$  кН:  
 1, 2 – грунт насыпной рыхлый; 3, 4 – грунт связный уплотнённый; 5, 6 – цементобетон;  
 1, 3, 5 – внутреннее колесо; 2, 4, 6 – внешнее колесо

С уменьшением давления воздуха в шине крутящие моменты внутреннего и внешнего колес ведущего моста с межколесным дифференциалом на цементобетонной поверхности незначительно возрастают. При движении по срезанному неуплотненному грунту значение  $M_K$  несколько больше, чем на цементобетоне ввиду дополнительного расхода энергии на деформацию грунта.

Однако с уменьшением давления воздуха в шинах  $M_K$  уменьшается, и при давлении в шинах 0,15 МПа приближается по своим значениям к крутящим моментам, полученным на цементобетонной поверхности, т.к. деформация грунта становится незначительной, а затраты энергии на преодоление сил трения в зоне контакта на грунте ниже. На насыпном рыхлом грунте величина крутящих моментов значительно возрастает вследствие увеличения деформаций грунта, приводящей к образованию колеи. Глубина и ширина колеи зависят от давления воздуха в шине, и с уменьшением давления воздуха в шинах, глубина и ширина колеи уменьшаются. С уменьшением давления воздуха в шинах величина крутящих моментов уменьшается вследствие уменьшения деформации грунта.

При блокированном приводе происходит перераспределение общего крутящего момента на ведущих колёсах, при этом на внутреннем (отстающем) колесе  $M_{K1}$  принимает положительное значение на исследуемых опорных поверхностях, а на внешнем (забегающем) колесе  $M_{K2}$  – отрицательное. Наибольший положительный  $M_{K1}$  и наибольший отрицательный момент  $M_{K2}$  были зафиксированы на асфальтобетоне, затем на плотном грунте и на рыхлом грунте. Следует также отметить, что крутящий момент на колёсах изменяется неравномерно. При уменьшении радиуса поворота от 7,75 до 5,75 м на внутреннем колесе происходит сначала увеличение крутящего момента, а затем снижение. На внешнем колесе  $M_{K2}$  (по абсолютной величине) с уменьшением радиуса уменьшается.

#### Библиографический список

1. Ульянов Н. А. Самоходные колесные землеройно-транспортные машины / Н. А. Ульянов, Э. Г. Ронинсон, В. Г. Соловьев. – М. : Машиностроение, 1976. – 359 с.
2. Жулай В.А. Оценка ширины колеи при движении колеса землеройно-транспортной машины по грунту / В.А. Жулай, В.Л. Тюнин // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Серия «Высокие технологии. Экология». 2013. – С. 140-143 с.
3. Жулай В.А. Определение ширины контакта крупногабаритных шин землеройно-транспортных машин при движении по грунту / В.А. Жулай, В.Л. Тюнин // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Серия «Высокие технологии. Экология». 2014. – С. 191-195.
4. Жулай В.А. Экспериментальные исследования тяговых качеств колёсного тягача землеройно-транспортных машин / В.А. Жулай, В.Л. Тюнин, А.Н. Щиенко // Строительные и дорожные машины. 2019. – № 12. – С. 20-23.
5. Никулин П.И. Исследование колёсного движителя с крупногабаритными шинами на специальном стенде / П.И. Никулин, В.Л. Тюнин, Р.С. Солодов // Механизация строительства. 2007. № 4. – С. 8-10.
6. Тюнин В.Л. Методика расчёта мощностных показателей колёсного движителя землеройно-транспортных машин: дис. канд. техн. наук / Тюнин Виталий Леонидович. – Воронеж, 2008. – 179 с.

## References

1. Ulyanov N. A. Self-propelled wheeled earthmoving and transport machines / N. A. Ulyanov, E. G. Roninson, V. G. Soloviev. – M. : Mashinostroenie, 1976. – 359 p.
2. Zhulai V.A. Estimation of the track width when the wheel of an earthmoving and transport vehicle moves along the ground / V.A. Zhulai, V.L. Tyunin // Scientific Bulletin of the Voronezh GASU. The series "High technologies. Ecology". 2013. – pp. 140-143 p.
3. Zhulai V.A. Determination of the contact width of large-sized tires of earth-moving vehicles when moving on the ground / V.A. Zhulai, V.L. Tyunin // Scientific Bulletin of the Voronezh GASU. The series "High technologies. Ecology". 2014. – pp. 191-195.
4. Zhulai V.A. Experimental studies of traction qualities of a wheeled tractor of earth-moving vehicles / V.A. Zhulai, V.L. Tyunin, A.N. Schienko // Construction and road vehicles. 2019. – No. 12. – pp. 20-23.
5. Nikulin P.I. Investigation of a wheel mover with oversized tires on a special stand / P.I. Nikulin, V.L. Tyunin, R.S. Solodov // Mechanization of construction. 2007. No. 4. – pp. 8-10.
6. Tyunin V.L. Method of calculating the power indicators of the wheel mover of earth-moving vehicles: dis. Candidate of Technical Sciences / Tyunin Vitaly Leonidovich. – Voronezh, 2008. – 179 p.

*Воронежский государственный  
технический университет  
Доктор техн. наук, проф. Ю.Ф. Устинов;  
Старший преподаватель А.В. Ульянов;  
Магистрант гр. мЭТМ-201 М.А. Кранин;  
Магистрант гр. мЭТМ-201 А.Г. Лавлинский;  
Магистрант гр. мЭТМ-201 В.А. Савинков;  
Магистрант гр. мСДМ-201 А.Ю. Уразов.  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 271-59-18  
e-mail: [ustinov@vgasu.vrn.ru](mailto:ustinov@vgasu.vrn.ru)*

*Voronezh State  
Technical University  
Dr. Sci. Tech., Prof. Yu.F. Ustinov;  
Senior Lecturer A.V. Ulyanov;  
Graduate student M.A. Kranin;  
Graduate student A.G. Lavlinskiy;  
Graduate student V.A. Savinkov;  
Graduate student A.Yu. Urazov.  
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 271-59-18  
e-mail: [ustinov@vgasu.vrn.ru](mailto:ustinov@vgasu.vrn.ru)*

Ю.Ф. Устинов, А.В. Ульянов, М.А. Кранин, А.Г. Лавлинский, В.А. Савинков, А.Ю. Уразов

### **СНИЖЕНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

Изложены основные источники и причины генерации виброакустической энергии, описаны основные методы и средства снижения вибрации и шума транспортно-технологических машин на различных режимах работы, определены главные задачи снижения виброакустической энергии.

**Ключевые слова:** вибрация, шум, методы виброакустической защиты.

Yu.F. Ustinov, A.V. Ulyanov, M.A. Kranin, A.G. Lavlinskiy, V.A. Savinkov, A.Yu. Urazov

### **REDUCTION OF VIBRO-ACOUSTIC ENERGY TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES**

The basic sources and causes the generation of vibro-acoustic energy, describes the basic methods and means of reducing vibration and noise of transport and technological machines for different modes of operation, identified the main challenges to reduce vibro-acoustic energy.

**Keywords:** vibration, noise, vibroacoustic methods of protection.

Создание новых видов техники с форсированными рабочими параметрами по скорости, мощности, нагрузкам неизбежно приводит к росту интенсивности вибрационных и акустических полей. Темпы этого роста опережают темпы создания новых методов и средств, обеспечивающих снижение уровней вибрации до безопасных значений.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в последние десятилетия в деле устранения опасных и вредных вибраций, действующих как на человека, так и на элементы конструкций машин, и в настоящее время эта проблема остается одной из наиболее острых, важных и актуальных.

В агрегатах, механизмах и узлах транспортно-технологических машин амплитуды и частоты действующих сил носят периодический, непериодический, импульсный, ударный и случайный характер. Отстройка от опасных резонансных режимов и снижение уровня колебаний в реальных конструкциях представляют важную научную проблему [1, 3, 8].

Взаимодействие оператора с новейшими высокопроизводительными и быстроходными машинами с учетом взаимодействия вибрационных и акустических полей связано со здоровьем людей, с нормализацией условий трудовой деятельности человека, разработками рационального развития труда и отдыха, что имеет большое социально-экономическое значение. В этой связи Институтом машиноведения им. А.А. Благодрава еще в конце XX века были определены основные задачи:

- исследования биотехнических систем “человек – машина” с точки зрения возрастающих вибрационных действий;
- исследования в области виброакустической динамики [10].

Дальнейшее изучение и развитие проблем вибрации в различных аспектах позволит решить задачи оптимизации виброакустической защиты систем “человек – машина – среда” и ряд существенных проблем виброакустической диагностики машин и механизмов, использования вибрации в технологических процессах и других [1, 7].

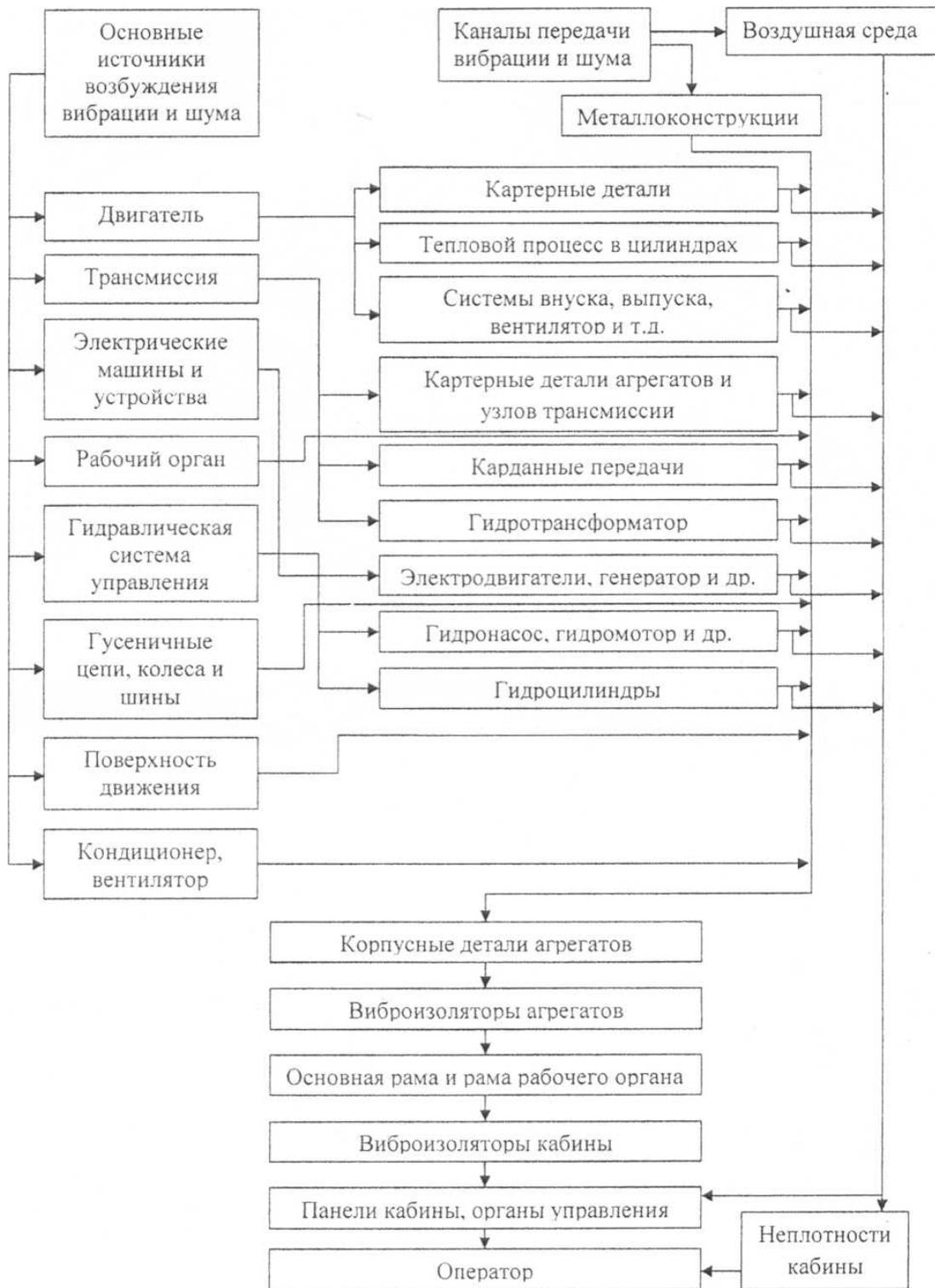
Землеройно-транспортные машины (ЗТМ), как известно, предназначены для послойного резания грунта и перемещения его рабочим органом на некоторое расстояние. Таким образом, для ЗТМ характерны два режима работы: тяговый и транспортный, что влечет за собой резко различаемые нагрузки в трансмиссии и двигателе. К ЗТМ непрерывного действия, для которых основной режим работы тяговый, относятся автогрейдеры, грейдер-элеваторы, струги и т.д. Для бульдозеров и погрузчиков характерны в рабочем цикле приблизительно 50% тяговый и 50% транспортный режимы. Такое же распределение режимов работы характерно для машин, работающих на подготовительных работах, например, рыхление и киркование грунта. Для самоходных скреперов процесс копания грунта занимает малую часть в рабочем цикле. Для них характерен транспортный режим в условиях бездорожья.

Специфика работы ЗТМ в различных грунтовых условиях выделяют их в особую группу машин с точки зрения возникновения и распространения вибрации и шума [7]. Конструкционные особенности ЗТМ в общем случае следующие:

- наличие двух рам (основной и рабочего органа), увеличивающих массу и объем металлоконструкций;
- высокая концентрация на основной раме источников виброакустической энергии – двигателя внутреннего сгорания, карданной передачи, коробки передач и т.п., усложняющий колебательный процесс рамы и кабины ЗТМ;
- отсутствие в подвеске мостов упругих и амортизирующих элементов, что влияет на амплитуду и время затухания колебательных процессов в раме;
- отсутствие дифференциала или его блокировка на некоторых ЗТМ увеличивает амплитуду колебаний моментов на осях ведущих мостов;
- наличие рабочего оборудования и системы управления им для выполнения технологического процесса являются дополнительными источниками виброакустических излучений.

На ЗТМ различают виброакустическую энергию, излучающую в окружающую среду и опорные конструкции механического, электромагнитного, гидродинамического и аэродинамического происхождения. При выполнении технологических операций ЗТМ в общем случае излучение виброакустической энергии обусловлено:

- преобразованием одного вида энергии в другой, например, в двигателях внутреннего сгорания, электродвигателях, электрогенераторах, гидромоторах, насосах, гидротрансформаторах и других;
- взаимодействием рабочего органа и движителя с грунтом;
- работой зубчатых зацеплений в раздаточных, дополнительных и коробках перемены передач;
- работой системы управления рабочим органом;
- недостаточными сбалансированностью деталей и уравновешенностью механизмов.



**Рис.** Принципиальная схема источников вибрации и шума и пути распространения виброакустической энергии на ЗТМ

На представленной схеме (см. рис.) видно, что вибрация и шум проникают в кабину двумя путями: по воздушной среде и при передаче вибрации по конструкции ЗТМ. В технической акустике при исследовании шума в кабине, структурный шум, вызываемый вибрациями, передаваемыми по конструкции машин, и шум, проникающий в кабину по воздушной среде, считают двумя отдельными источниками шума и их рассматривают независимо [7, 8, 9].

Основными источниками виброакустического излучения, определяющими вибрацию и структурный шум ЗТМ, являются двигатель внутреннего сгорания, трансмиссия и в меньшей степени, при малых скоростях (до 50 км/ч) неровности поверхности движения – колеса (шины), рабочий орган, гидравлическая система управления и другие [2, 4].

Рациональность создания виброшумобезопасных машин устанавливается на основе комплексного анализа результатов работы по снижению вибрации и шума и затрат при внедрении их в производство [3, 10].

В общем случае результат создания малошумных машин представляет собой совокупность научного, технического, организационного, социального и экономического эффектов. Он может включать эффекты специального характера: удовлетворение высоким качеством техники потребителей, снижением негативного влияния на окружающую среду и другие.

При анализе вариантов малошумных машин применяются технические показатели, характеризующие эксплуатационные, конструктивные и технологические свойства, которые используются в качестве исходных данных для расчета экономического эффекта. Недостатком технических показателей при сравнении вариантов машин с точки зрения их виброакустических характеристик является то, что они непосредственно не выражают затрат общественного труда и поэтому не позволяют рассчитать численное значение достигаемого экономического эффекта.

Организационная целесообразность изготовления вариантов малошумных транспортно-технологических машин заключается в установлении возможности производства в требуемом объеме и в более короткие сроки при существующей организационной структуре отделов проектирования, цехов и производственных участков на предприятии. Организационные показатели не выражают затрат общественного труда, обусловленных применением тех или иных способов и средств при изготовлении малошумных машин.

Социальная и экологическая целесообразность вариантов виброшумобезопасных транспортно-технологических машин базируется на сопоставлении и анализе следующих показателей:

- изменение профессионального и квалификационного состава работников, занятых в проектировании и производстве машин, так как внедрение численных исследований и расчета виброакустических характеристик, например, с использованием метода конечных элементов (МКЭ) влечет за собой повышение уровня программистов и удельного веса инженеров-специалистов по виброакустической динамике машин;
- повышение уровня и степени автоматизации труда при проектировании и производстве виброшумобезопасных машин;
- улучшение условий труда операторов транспортно-технологических машин за счет снижения негативного влияния вибрации и шума в кабине;
- повышение экологической безопасности, выражающейся в уменьшении акустического загрязнения окружающей среды за счет снижения внешнего шума машин.

Анализ перечисленных показателей необходим для объективной оценки рациональности намечаемых и осуществляемых задач по прогнозированию вибрации и шума транспортно-технологических машин [3].

### **Генерация звуковой вибрации и шума в коробках передач**

Виброакустическая энергия, генерируемая в коробках перемены передач (КПП), раздаточных коробках (РК) и дополнительных коробках (ДК) весьма существенна. Излучателями шума в таких системах являются ограждающие конструкции. От зубчатых передач шум через воздушный промежуток и ограждения проникает в окружающее пространство – это воздушный шум [1, 6].

Колебания от зубчатых передач через опорные конструкции и стыковые соединения могут передаваться на внешние ограждающие конструкции, которые излучают структурный шум.

Несмотря на различное назначение и конструктивное исполнение, коробки имеют ряд общих характерных особенностей:

- зубчатые передачи и ограждающие конструкции размещены на общей раме;
- кожухи имеют небольшие габариты и внутренняя воздушная полость систем относится к классу «малых» акустических объемов, размеры которых меньше длины волны на низких и средних частотах;
- ограждающие конструкции жестко связаны с металлическими опорными конструкциями;
- общий уровень излучаемого коробками шума определяется уровнем шума, излучаемого корпусом.

Шум зубчатых передач вызывается колебаниями колес и элементов конструкций, сопряженных с ними. Причинами этих колебаний являются: взаимное соударение зубьев при входе в зацепление, переменная деформация зубьев, вызванная непостоянством сил, приложенных к ним, кинематические погрешности зубчатых колес, переменные силы трения.

Спектр шума занимает широкую полосу частот, особенно значителен он в диапазоне 2000 – 5000 Гц. На фоне сплошного спектра имеются дискретные составляющие, основными из которых являются частоты, обусловленные взаимным соударением зубьев, действием ошибок в зацеплении и их гармониками.

Составляющие вибрации и шума от деформации зубьев под нагрузкой имеют дискретный характер с основной частотой, равной частоте пересопряжения зубьев,

$$f_z = \frac{zn}{60}, \quad (1)$$

где  $z$  – число зубьев колеса;  
 $n$  – частота вращения, об/с.

Частота действия накопленной ошибки зубчатого колеса кратна частоте вращения:

$$f_i = \frac{in}{60}, \quad (2)$$

где  $i = 1, 2, 3 \dots$

Однако, имеются случаи, когда накопленная ошибка окружного шага не совпадает с частотой вращения. В этом случае будет существовать еще одна дискретная частота, равная частоте действия ошибки.

Колебания возбуждаются также с частотами, определяемыми погрешностями зубчатой пары (перекос осей, отклонение от межцентрового расстояния и т.п.).

Зубчатое зацепление представляет собой систему с распределенными параметрами и имеет большое количество собственных частот колебаний. Это приводит к тому, что практически на всех режимах работа зубчатого зацепления сопровождается возникновением колебаний на резонансных частотах [1, 6].

Снижение уровня шума может быть достигнуто снижением величины действующих переменных сил, снижением коэффициента передачи звуковых колебаний от мест возникновения к местам излучения, снижением колебательных скоростей за счет улучшения конструкции колеблющегося тела, сокращением поверхности излучения, увеличением внутреннего трения материала колес.

Для изготовления зубчатых колес в основном используется углеродистые и легированные стали. В тех же случаях, когда необходимо обеспечить менее шумную работу передачи, для зубчатых колес используются неметаллические материалы, применяются косозубые зубчатые передачи или передачи с криволинейным зубом.

Технология изготовления зубчатых колес, принцип зубообразования, вид инструмента для нарезания, припуски на обработку, точность станков не только определяют качество по отклонениям в отдельных элементах зацепления, но и предопределяют кинематическое взаимодействие элементов зацепления.

Одним из способов уменьшения вибрации и шума зубчатых колес является повышение точности их изготовления. Точность изготовления обеспечивается правильным выбором технологического процесса нарезания и доводочной обработкой венца (шевингованием, притиркой, тонким шлифованием и полированием). В результате применения этих операций величина циклических действующих ошибок уменьшается, и тем самым значительно снижается шумообразование (до 5 – 10 дБ).

Уровень шума снизится, если изготавливать зубья колес максимально упругими за счет высокой коррекции или модифицировать их по высоте профиля.

При работе зубчатого зацепления с размыканием, имеющим место при повышенных скоростях и переменных нагрузках, возникают кратковременные импульсы с широкими спектрами частот, которые способствуют возрастанию уровня шума в отдельных случаях на 10 – 15 дБ. Величина этих импульсов и интервалы между ними могут быть переменными.

Известно, что увеличение частоты вращения в 2 раза должно привести к возрастанию уровня шума на 5 – 6 дБ.

При постоянной частоте вращения увеличение передаваемого момента вдвое приводит к удвоению линейных деформаций и амплитуды колебаний. Излучаемая звуковая мощность пропорциональна квадрату нагрузки. Поэтому шум и вибрация зависят от нагрузки примерно так же, как от частоты вращения.

Снижение шума передачи может быть достигнуто уменьшением частоты вращения зубчатых колес. Например, за счет применения двухступенчатых передач, уменьшения модуля, изменения числа зубьев.

На увеличение уровня шума зубчатых передач существенное влияние оказывают также монтажные и эксплуатационные дефекты. К монтажным дефектам относят повышенные зазоры в подшипниках, перекос осей, невыдержка межцентровых расстояний спариваемых зубчатых колес, неточное центрирование их, биение соединительных муфт. К эксплуатационным факторам, влияющим на шум зубчатых колес относят изменение передаваемого крутящего момента (в частности, его колебания), износ и режимы смазывания и количество смазочного материала. Изменение передаваемого крутящего момента порождает ударный характер взаимодействия зубьев в зацеплении. Отсутствие или недостаточное количество смазочных материалов металлических зубчатых колес приводит к повышению трения и, как следствие, к увеличению уровней звукового давления на 10 – 15 дБ.

Снижение интенсивности низкочастотных составляющих шума достигается повышением качества сборки и динамической балансировки вращающихся деталей. Введение упругих элементов в систему снижает динамические нагрузки на зубья колес.

Расположение зубчатых колес возле опор на двухопорных валах по возможности на неподвижной посадке без зазоров в опорах также приводит к снижению шума.

Уменьшение зазоров между зубьями заметно уменьшает амплитуду вибраций зубчатых колес, вызванных внешними причинами, однако уменьшение зазора до значений, меньших допустимого нормами, вызовет заметное ухудшение в работе передачи. Современный и высококачественный ремонт зубчатых передач, при котором зазоры во всех сочленениях доводятся до предусмотренных допусками, необходим для снижения уровня шума и вибрации.

### **Вибрация и шум подшипников**

Интенсивным источником механической вибрации и шума транспортно-технологических машин являются подшипники качения. Внутренние силы, вызывающие

вибрацию подшипников качения, обусловлены отклонениями элементов подшипника и монтажных размеров, зависящими от точности, принятой при изготовлении деталей. Силы возникают от разности колец подшипников, овальности и разноразмерности тел качения, волнистости на дорожках качения, радиального и осевого зазоров между телами качения и кольцами, а также зазора в гнездах сепаратора [1, 6].

Колебания подшипников качения проявляются в широкой области от десятков до десятков тысяч Гц, наиболее энергоемкие колебания сосредоточены в области, начиная от частоты вращения вала.

Следует отметить, что изготовленный с высокой точностью подшипник может стать источником интенсивной вибрации и шума, если будет неправильно установлен. Другой фактор, влияющий на уровень шума от подшипника – качество его смазывания.

Подшипники скольжения значительно менее виброактивны, чем подшипники качения, особенно на высоких частотах. Основная причина шума, создаваемого подшипниками скольжения – силы трения между поверхностями подшипника и шейки вала, возникающие в результате неравномерного и неправильного смазывания подшипников. В неправильно смазанных подшипниках возникает контакт поверхностей вала и подшипника и появляется «скрип» в результате скачкообразного движения шейки вала и поверхностей опоры. Эти колебания происходят на субгармониках частоты вращения  $1/2 f_0$  или  $1/3 f_0$ .

Проблема снижения шума от подшипников включает три самостоятельных задачи: применение подшипников качения с улучшенными шумовыми характеристиками; вибродемпфирование и виброизоляция колебаний, передаваемых на корпус машины; создание наиболее благоприятных условий работы подшипников в машине.

Для снижения шума лучше всего применять однорядные радиальные шариковые подшипники; подшипники других типов создают более высокий уровень шума и вибрации. Так, уровень вибрации роликовых подшипников выше, чем у шариковых на 5 дБ и более. Такую же величину составляет превышение уровней вибрации подшипников тяжелой серии по сравнению с подшипниками средней серии [1, 6].

Шум и вибрация подшипников качения определяются степенью отклонения элементов подшипников от идеальных геометрических форм, величиной радиального зазора между кольцами и телами качения. Это обстоятельство важно при выборе класса точности подшипников и ряда радиального зазора.

Причинами вибрации и шума в подшипниках качения могут быть механическая неуравновешенность деталей, смещение центра масс деталей относительно геометрической оси вращения, что проявляется на частоте

$$f = k \frac{n}{60}, \quad (3)$$

где  $n$  – частота вращения детали в подшипниках,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $k=1,2,3\dots$  – номер гармоники.

В подшипниках качения могут быть и другие причины генерации вибрации и шума [1, 6].

### **Неуравновешенность и вибрация карданных передач**

Остаточная неуравновешенность вращающегося вала карданной передачи является одной из наиболее распространенных причин вибрации машин, а вследствие ее и излучаемого шума. Она характеризуется несовпадением главной оси инерции вала с осью вращения. В зависимости от взаимного расположения этих осей неуравновешенность жесткого вала разделяют на три вида [5, 8, 9].

При статической неуравновешенности ось вращения вала и его главная центральная ось инерции параллельны. Приведение всех неуравновешенных сил от дисбалансов к центру масс вала дает только главный вектор дисбалансов

$$\bar{F} = m\bar{e}_{cm}\omega^2, \quad (4)$$

где  $m$  – масса вала;

$\bar{e}_{ct}$  – удельный дисбаланс вала (эксцентриситет массы вала  $m$  относительно оси вала);

$\omega$  – угловая скорость вала.

Причинами статической неуравновешенности телескопического вала, кроме дисбалансов, вызванных разностью масс конструктивных элементов, находящихся на противоположных сторонах вала, могут быть несоосность поверхности внешнего вала с поверхностью внутреннего вала, прогиб вала и др.

Моментальная неуравновешенность вала возникает, когда ось вала и его главная центральная ось инерции пересекаются в центре масс вала. При этом приведение всех неуравновешенных сил к центру массы вращающегося вала дает только главный момент.

Когда ось вала и его главная центральная ось инерции пересекаются не в центре масс или перекрещиваются, возникает динамическая неуравновешенность вала. Она состоит из статической и моментной неуравновешенности и полностью определяется главным вектором и главным моментом дисбалансов. Типичный случай динамической неуравновешенности имеет место, когда отбалансированный на станке вал соединяют с другими фланцами на машине [7].

Помимо сил от дисбалансов, появляются силы, возникающие вследствие прогиба вала.

Вибрация, вызываемая неуравновешенностью вала, имеет частоту колебаний

$$f = \frac{n}{60}, \quad (5)$$

где  $n$  – частота вращения вала (об/мин).

В общем случае, когда вал карданной передачи имеет эксцентриситет массы  $\bar{e}_{ct}$  и прогиб  $h$ , при вращении вала с угловой скоростью  $\omega$  возникает центробежная сила инерции  $\bar{F}_y$

$$\bar{F}_y = m(h + \bar{e}_{cm})\omega^2. \quad (6)$$

До критической частоты вращения вала действует закон Гука, когда прогиб не превышает предел упругости вала. В этом случае сила  $\bar{F}_y$  уравнивается силой упругости вала  $F_{yn}$ . Из литературных источников известно [5]

$$F_{yn} = kh \frac{EJ_n}{L^3} = kh \frac{cJ_n}{L^2 S}, \quad (7)$$

где  $k$  – коэффициент, равный 77 для валов, свободнолежащих на опорах и равный 384 для валов, закрепленных в опорах;

$E$  – модуль упругости, для стали  $E=2 \cdot 10^5$  МПа;

$J_n$  – полярный момент инерции вала;

$L$  – длина вала;

$S$  – площадь сечения вала;

$c$  – изгибная жесткость вала,  $c = \frac{ES}{L}$ .

Приравнявая  $\bar{F}_y = F_{yn}$ , после преобразования имеем, при  $\omega=2\pi f$

$$4(h + \bar{e}_{cm})\pi^2 f^2 = kh \frac{cJ_n}{mL^2 S} = f_0^2 k \frac{hJ_n}{L^2 S}, \quad (8)$$

здесь  $f_0^2 = \frac{c}{m}$  - собственная частота колебаний вала.

Из выражения (8) видно, что резонансные колебания вала наступают при  $f = f_0$ , если

$$4(h + \bar{e}_{cm})\pi^2 = kh \frac{J_n}{L^2 S}. \quad (9)$$

Критическая частота вращения вала карданной передачи определяется выражением

$$n_{кр} = \frac{30}{\pi L} \sqrt{\frac{kEJ_n}{Lm}}. \quad (10)$$

Для снижения вибрации длинного карданного вала, например, на автогрейдерах, рекомендуется производить дополнительную динамическую балансировку непосредственно на месте их установки. Способ динамической балансировки карданных передач непосредственно на машине известен (Патент на изобр. №210926 РФ. Способ динамической балансировки преимущественно карданного механизма/ Ю.Ф. Устинов, В.А. Муравьев, опубл. 20.04.98, Бюл. №11).

### Двигатели внутреннего сгорания

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) является сложным источником виброакустической энергии, так как ее излучение складывается из нескольких потоков от разных механизмов и процессов, происходящих в двигателе.

Рассмотрение спектра шума и вибрации ДВС позволяет заключить, что виброакустическая энергия содержит тональные составляющие и сплошную область. Наличие большого количества составляющих и сплошной области излучения в спектрах указывает на большое количество источников виброакустической энергии в ДВС и причин, которые приводят к их появлению.

Главными причинами, вызывающими шум и вибрацию в ДВС являются следующие [4]:

1. Сила давления газа в цилиндрах и возмущения, возникающие при перетекании газов в системах впуска и выпуска. Моменты от газовых сил также вызывают вибрацию и шум двигателя;

2. Центробежные силы инерции и моменты этих сил;

3. Сила инерции и моменты этих сил возвратно-поступательно движущихся масс;

4. Давления, возникающие при впрыске в топливоподводящей системе.

Источники шума и вибрации возникают в системах впуска и выпуска двигателя, системе охлаждения, в двигателе в процессе сгорания топлива в цилиндрах, механизмах двигателя при соударениях относительно перемещающихся деталей и в результате трения в сопрягаемых элементах.

Периодичность излучения виброакустической энергии в процессе рабочего цикла – основная особенность всех источников ДВС [4].

Результаты исследования шума впуска в цилиндры двигателя показывают возможность его снижения за счет конструктивных параметров впускных систем: активная длина впускной трубы; радиус впускной горловины; геометрические размеры впускных патрубков в головках блока; размеры воздухоочистителя и др.

Причиной появления шума выпуска служит истечение отработавших газов, обладающих высокой энергией при открытии выпускных клапанов в головке блока цилиндров. Уровни шума при этом могут достигать 125-130 дБ [4].

В выпускных системах многоцилиндровых двигателей турбулентные шумы возникают при срыве вихрей в трубах при обтекании тел потоком газа и при течении газа у стенок (шум пограничного слоя), а также за счет перемешивания потоков газа, движущихся с различными скоростями.

В выпускной системе, непосредственно за клапаном, происходит формирование волны давления со значительной амплитудой. Волна с таким перепадом давления не является звуковой, но она может вызвать колебания конструктивных элементов труб и глушителя.

Известно, что заглушающие свойства выпускной системы лучше в том случае, когда собственные колебания входной и выходной от глушителя труб не совпадают между собой. Оптимальным оказывается тот случай, когда длина выходной трубы составляет менее половины длины входной трубы, при этом заглушение оказывается лучшим при любой конструкции глушителя.

Величина заглушения шума выпуска определяется конструкцией глушителя. Необходимо отметить, что часто наблюдается снижение заглушающих свойств глушителя на переменных режимах работы транспортно-технологических машин.

На протяжении рабочего цикла силы, действующие во всех сопряжениях кривошипно-шатунного механизма ДВС, многократно меняют свой знак. Изменение направления действия силы приводит к соударению относительно перемещающихся звеньев и появлению вибрационных импульсов. Удары могут возникать в шатунных подшипниках коленчатого вала, в сопряжении шатун – поршневой палец – поршень, а также между поршнем и гильзой цилиндра. Такие удары приводят к появлению шума и вибрации двигателя.

В моменты рабочего цикла, когда происходит изменение знака боковой силы, возникает удар поршня о стенку цилиндра и его интенсивность растет с увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Помимо скоростного режима интенсивность удара определяется величиной зазора в сопряжении поршень – гильза, весом деталей, совершающих возвратно-поступательное движение, произведение высоты поршня на диаметр. Увеличение всех перечисленных параметров приводит к более интенсивному удару, а значит к возрастанию вибрации и шума. В хорошо уравновешенных ДВС существенно снижаются составляющие спектра шума.

Рационально спроектированная подвеска позволяет значительно снизить шум в соответствующих полосах частот спектра и сгладить негативные последствия недостатков в организации рабочего процесса, динамической несбалансированности и неуравновешенности двигателя.

Требование, предъявляемое к подвеске, состоит в том, чтобы обеспечить собственные частоты в узкой полосе и колебания двигателя в пространстве сделать несвязанными. Для этого опоры следует располагать в плоскости, проходящей через главную ось инерции и симметрично относительно нее [4].

Еще одним источником шума ДВС является газораспределительный механизм, в котором развиваются значительные силы, возбуждающие колебательные движения деталей механизма – пружин, коромысел, штанг, клапанов.

Ударная посадка клапанов в гнезде, удары, возникающие при выборе зазоров в толкателях и других сопрягаемых деталях механизма, вызывают появление вибрационных импульсов в блоке и головке, которые излучаются наружными поверхностями двигателя. Это приводит к появлению значительного шума по уровню и с неблагоприятным спектром в высокочастотной области [4].

Применение гидравлических толкателей позволяет создать минимальный тепловой зазор в механизме, что обеспечивает посадку клапанов с минимальными скоростями.

Использование различных материалов для головок блока приводит к существенному снижению шума и вибрации двигателя. Особенно большое влияние это оказывает на шум от газораспределения. Чугунные головки снижают шум лучше алюминиевых сплавов.

На снижение шума также влияет тщательный выбор параметров упругих прокладок между крышками механизма газораспределения и блоком, между крышками головок блока и головками блока [4].

## Методы исследования динамических систем

Землеройно-транспортные машины, имеющие высокую концентрацию агрегатов, механизмов и узлов на основной раме в сочетании с рабочим органом, системой управления и пневмоколесным движителем, представляют собой сложную динамическую систему. Исследование динамических систем включает определение параметров виброакустических процессов на основе выбранного метода.

Выбор метода исследований и поиск оптимальных решений сложных динамических систем – процесс трудоемкий и во многих практических случаях не реализуемый из-за невозможности предугадать форму и точность решений.

На практике в различных отраслях машиностроения используются методы исследования и расчета параметров быстропеременных процессов, основные из которых следующие:

1. Метод решения задач динамики сложных механических систем на основе классической теории колебаний, например, с использованием уравнений Лагранжа второго рода, в которых учитываются лишь основные параметры систем (масса, жесткость, демпфирование и др.), оказывающие влияние на конечный результат. Эта теория, хорошо описывающая динамику простейшей механической системы, применительно к сложным системам типа ЗТМ не обеспечивает достаточной точности решений из-за отличия реальных граничных условий от математической модели.

2. Метод, базирующийся на теории звуковых колебаний и волн. Механические системы рассматриваются как среда, в которой распространяются различные типы волн, отражающиеся во всех местах нарушения сплошности среды, особенно на краях свободных поверхностей и в местах соединений элементов. Данный метод представляет собой расчет распространения волн в различных средах, однако в некоторых случаях применительно к механическим системам он приводит к трудоемким расчетам и невысокой точности расчета.

3. Геометрический (лучевой) метод расчета УЗД и УЗ, устарел вследствие большой погрешности.

4. Энергетический метод исследования быстропеременных процессов, основанный на законах статистической физики. Этот метод удовлетворительно описывает усредненные виброакустические характеристики элементов динамических систем при условии большого количества резонансных частот элементов в исследуемом диапазоне частот.

5. Метод модального анализа, основанный на теории электрических цепей, позволяет описать быстропеременные процессы сложных динамических систем. Практическая ценность метода состоит в том, что для расчетов используется теория матриц.

6. Численные методы и, в частности, метод конечных элементов (МКЭ). На современном этапе развития науки и техники МКЭ является одним из самых мощных численных методов решения дифференциальных и векторных уравнений в различных отраслях машиностроения. Этот метод позволяет исследовать и оптимизировать виброакустические процессы в динамических системах практически любой сложности при использовании ЭВМ последних моделей. МКЭ в своей структуре содержит целый ряд формальных процедур и способов построения математических моделей механических систем и обеспечен численными методами исследований математических моделей.

7. Экспериментальный метод исследования служит для определения параметров виброакустических процессов. Обычно данный метод используется для проверки результатов аналитических исследований и расчетных параметров систем. Вместе с тем, часто аналитические модели, отражающие в полной мере реальные процессы, отсутствуют и найденные экспериментально некоторые виброакустические характеристики служат основой последующих расчетов и проектирования рациональных конструкций. Метод конечных элементов является предпочтительным на заключительной стадии проектирования ЗТМ, когда определены все параметры машины и рассчитаны на прочность элементы конструкции. Данный ме-

тод позволяет аппроксимировать дискретной моделью реальные конструкции, изменять структуру моделей для поиска альтернативных решений с целью выбора оптимальных.

Экспериментальный метод позволяет подтвердить или опровергнуть результаты аналитических исследований виброакустических параметров ЗТМ, а также выявить некоторые закономерности и способы снижения вибрации, воздушного и структурного шума на машинах.

### Заключение

Создание новой, более совершенной и производительной строительной и дорожной техники требует инновационного подхода к решению проблем виброакустической динамики машин. При этом необходимо решать задачи в следующих научно-технических направлениях:

1. Разработка новых и совершенствование существующих методов расчета виброакустических параметров с использованием численных методов и векторной анимации (мультимедийных технологий), учитывающих особенности рамных, пластинчатых, оболочечных и других конструктивных элементов машин.

2. Создание более эффективных материалов виброизоляторов из виброзвукопоглощающих конструкций с использованием принципов бионики и нанотехнологий, позволяющих изменять характеристики вибрации и шума в зависимости от режима работы транспортно-технологических машин.

3. Разработка автоматизированных способов управления массовыми, жесткостными, диссипативными параметрами виброзвукозащитных элементов.

4. Создание более совершенных методов оптимизации виброшумозащитных комплексов транспортно-технологических машин в условиях рыночной экономики и высоких требований к их безопасности.

### Библиографический список

1. Вибрация в технике. Справочник, т.3. М.: "Машиностроение", 1980, -544 с.
2. Жулай В.А., Тюнин В.Л., Малофеев А.В. Анализ мощностного баланса землеройно-транспортных машин//Научный вестник Воронежского ГАСУ. Высокие технологии. Экология. 2012, №1, с. 296-299.
3. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 424 с.
4. Луканин В.Н. Шум автотракторных двигателей внутреннего сгорания. М.: "Машиностроение", 1971, -272 с.
5. Маслов Г.С. Расчеты колебаний валов. М.: "Машиностроение", 1968, -271с.
6. Справочник по судовой акустике/под ред. И.И. Ключкина и И.И. Боголепова. Л.: Судостроение, 1978, -504с.
7. Устинов Ю.Ф. Концептуальные принципы создания виброшумобезопасных машин строительного комплекса// Промышленное и гражданское строительство, 2010, №9, с.23-27.
8. Устинов Ю.Ф., Гольцов Д.Н., Чернышев Д.И. Виброакустические характеристики автогрейдера с колесной формулой 1х2х3// Научный вестник Воронежского ГАСУ. Высокие технологии. Экология, 2013, №1, с.181-188.
9. Устинов Ю.Ф., Волков Н.М., Покачалов А.С., Гольцов Д.Н., Чернышев Д.И.. Виброакустические характеристики автогрейдеров// Строительные и дорожные машины, 2015, №1, с.7-10.
10. Устинов Ю.Ф. Механические колебания и виброакустическая защита транспортно – технологических строительных машин: учеб. пособие/Устинов Ю.Ф., Воронежский ГАСУ.- Воронеж, 2015, -239 с.

## References

1. Vibration technique. Handbook, Volume 3. M.: "Engineering", 1980, -544s.
2. Zhulai VA, Tyunin VL, Malofeev A.V. Analiz power balance zemleroyno- transport machines // Scientific Herald of the Voronezh GASU. High tech. Ecology. 2012. №1. s.296-299.
3. Ivanov NI Engineering acoustics. Theory and practice of noise control: a tutorial. - M. : University Book, Logos, 2008. - 424c.
4. Lukanin VN Noise automotive internal combustion engines. M.: "Engineering", 1971, -272s.
5. Maslov GS Calculations oscillation shafts. M.: "Engineering", 1968, -271s.
6. Reference ship acoustics / under red. I.I. Klyukina and I.I. Bogolepova. L. : Shipbuilding, 1978, -504s.
7. Yu Ustinov Conceptual principles of machine building complex vibroshumobezopasnyh // Industrial and civil stroitelstvo. 2010. №9. s.23-27.
8. Ustinov YF, Goltsov DN, Chernyshev DI Vibroacoustic characteristics grader wheel formula  $1h2h3$  // Scientific Herald of the Voronezh GASU. High tech. Ecology. 2013. №1 s.181-188.
9. Ustinov YF, NM Volkov, Pokachalov AS, Goltsov DN, Chernyshev DI .. vibroacoustic characteristics graders // Building and road machines. 2015. №1. s.7-10.
10. JF Ustinov. Mechanical oscillations and vibro-acoustic protection of transport - technological construction machinery: Textbooks / Yu.F. Ustinov Voronezh Voronezh GASU.-, 2015, -239s.

УДК 621.822.9

*Российский университет транспорта  
(МИИТ)*

*Доцент В.И.Фомин,*

*Россия, Москва*

*тел. +7(495) 684-22-08*

*e-mail: [f14700@yandex.ru](mailto:f14700@yandex.ru)*

*Russia University of Transport  
(MIIT)*

*Assistant professor V.I. Fomin,*

*Russia, Moscow,*

*tel. +7 (495) 684-22-08*

*e-mail: [f14700@yandex.ru](mailto:f14700@yandex.ru)*

В.И. Фомин

## **РАСЧЕТ ЦИКЛИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ ПОДВИЖНОСТИ ИХ КОЛЕЦ**

Для двух вариантов конструктивного применения шариковых подшипников качения исследованы уровни их циклической нагруженности. В первом варианте внутреннее кольцо подшипника вращается, а наружное условно неподвижно. Второй вариант: наружное кольцо вращается, а внутреннее условно неподвижно. Расчетным способом показано, что при вращении наружного кольца число циклов нагружения опасных точек контакта кольца с телами качения примерно в два раза больше, чем для случая вращения внутреннего кольца.

**Ключевые слова:** подшипники качения, нагруженность.

V.I. Fomin

## **CALCULATION OF CYCLIC LOADING OF ANTIFRICTION BEARINGS INTO ACCOUNT THE ROTATIONAL MOBILITY OF THEIR RINGS**

Two cases of constructive use of antifriction bearings are considered. First: the inner ring rotates, the outer ring is fixed. Second: the outer ring rotates and the inner ring is fixed. Calculation method shows that when rotating the outer race of the rolling bearing, the number of cycles of the outer dangerous points of the ring is approximately twice as large as when the inner ring.

**Key words:** antifriction bearings, loading.

Подшипники качения широко применяются в механизмах подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования. Совершенствование проектных расчетов элементов механических устройств направлено на повышение их надежности и снижения материалоемкости.

В настоящее время многие производители редукторов продолжают принимать проектные решения на основе устаревшего стандарта ISO 281:1977 «Rolling bearings – Dynamic load ratings and rating life». Вначале рассчитывается динамическая радиальная или осевая (в зависимости от типа подшипника) грузоподъемность  $C_r$  или  $C_a$  (либо выбираются эти значения из каталога подшипников) и динамическая или осевая (в зависимости от типа подшипника) эквивалентная радиальная нагрузка  $P_r$  или  $P_a$ . Далее проводится расчет номинального ресурса  $L_{10}$  по формуле

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p, \quad (1)$$

где  $p$  – показатель степени, равный 3 для шариковых подшипников и 10/3 для роликовых подшипников.

Вычисленный ресурс по формуле (1) соответствует 90% вероятности безотказной работы при условии применения качественных конструкционных материалов и соблюдения нормальных условий эксплуатации. Как показывает практика, не все аспекты конструктивного применения учтены в этих рекомендациях.

Уточненный расчет динамической грузоподъемности подшипников качения рекомендует применять ГОСТ 18855-2013 (ISO 281-2007) [1], в котором учитываются особенности конструкции подшипника и условий его эксплуатации применением коэффициента модификации  $a_1$  и коэффициента модификации ресурса  $a_{ISO}$ .

Эти коэффициенты применяют в формуле модифицированного ресурса (1) как

$$L_{nm} = a_1 a_{ISO} L_{10}, \quad (2)$$

где  $a_1$  – коэффициент модификации ресурса по вероятности безотказной работы,  $a_{ISO}$  – системный коэффициент модификации ресурса.

Коэффициент  $a_1$  устанавливает зависимость ресурса от вероятности безотказной работы. При вероятности безотказной работы 90%  $a_1 = 1,00$ , при 95%  $a_1 = 0,64$ , при 99%  $a_1 = 0,25$ .

Системный коэффициент модификации ресурса  $a_{ISO}$  учитывает изменения и взаимодействия взаимозависимых факторов, влияющих на ресурс подшипника, таких как: предел усталостного напряжения подшипниковой стали, условий смазки, рабочего радиального зазора и неравномерность напряжения сжатия на дорожке качения при перекосе подшипника и др. Вместе с тем, в этих рекомендациях не уточняется зависимость ресурса от особенности конструктивного применения подшипника.

В этих нормативных документах не учитывается интенсивность циклического нагружения колец подшипников в зависимости от конструктивного применения. Исследуем зависимости числа циклов нагружения шарикового радиального подшипника для случаев при вращении наружного и внутреннего колец на основе кинематики. Знание кинематики подшипника важно для определения числа циклов нагружения и оценки условий работы сепаратора подшипника.

В общем случае точки контакта тел качения (шариков) шарикового радиального подшипника с наружными и внутренними кольцами расположены на окружностях диаметров  $D_n$  и  $D_{вн}$  соответственно

$$D_n = D_{cen} + D_{ш} \cos \alpha;$$

$$D_{вн} = D_{cen} - D_{ш} \cos \alpha,$$

где  $D_{cen}$  – диаметр окружности, проходящей через центры тел качения (шариков), (средний диаметр сепаратора),

$D_{ш}$  – диаметр тел качения (шариков),

$\alpha$  – угол контакта (угол между радиальным направлением нагрузки и прямой линией, проходящей через точку контакта тела качения с дорожкой качения кольца подшипника); для шариковых радиальных подшипников  $\alpha = 0$ .

Подшипник качения с кинематической точки зрения можно рассматривать как планетарный механизм. Линейная скорость центра шарика (среднего диаметра сепаратора) при вращении наружного и внутреннего колец подшипника равна

$$V_{cen} = 0,5(V_{вн} + V_{н}),$$

где  $V_{cen}$ ,  $V_{вн}$ ,  $V_{н}$  – линейные скорости соответственно центра шарика (среднего диаметра сепаратора) и точек контакта с внутренними и наружными кольцами подшипника.

Исходя из такого положения, частота вращения сепаратора  $n_{cen}$  выражается как [2]

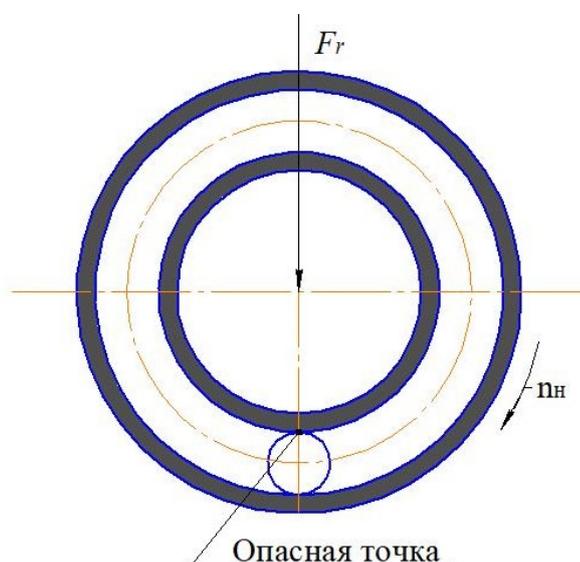
$$n_{cen} = \frac{D_{cen} - D_{вн} \cos \alpha}{2D_{cen}} n_{вн} + \frac{D_{cen} + D_{н} \cos \alpha}{2D_{cen}} n_{н}, \quad (3)$$

где  $n_{вн}$  и  $n_{н}$  – частоты вращения внутреннего и наружного колец подшипника.

На практике чаще всего одно из колец подшипника не вращается или проворачивается с относительно малой скоростью.

Из выражения (3) можно сделать следующее заключение. Частота вращения сепаратора  $n_{cen}$  при вращении только внутреннего кольца и условно неподвижном наружном несколько меньше значения  $0,5 n_{вн}$ . При вращении только наружного кольца и условно неподвижном внутреннем кольце частота вращения сепаратора  $n_{cen}$  немного больше значения  $0,5 n_{н}$ . В том и другом случаях сепаратор вращается в ту же сторону, что и вращающееся кольцо подшипника.

На рис.1 показан случай, когда вращается наружное кольцо подшипника, а внутреннее кольцо остается условно неподвижным. Здесь же обозначена опасная точка контакта.



**Рис. 1.** Схема к определению числа циклов нагружения при вращающемся наружном кольце и условно неподвижном внутреннем кольце подшипника

Такой случай характерен, например, для подшипниковых узлов осей опорных катков гусеничного хода мобильных кранов и других строительных машин. Наиболее нагруженной является точка, расположенная в зоне контакта тела качения с внутренним кольцом по линии действия, например, вертикальной радиальной силы  $F_r$ . За один оборот сепаратора опасная точка нагружается  $Z$  раз, где  $Z$  - число тел качения подшипника.

В этом случае число циклов нагружения опасной точки за  $L_h$  часов работы может быть определено как

$$N = 60Zn_{cen}L_h. \quad (4)$$

Частота вращения сепаратора исходя из формулы (1), может быть выражена как [3]

$$n_{cen} = \frac{0,5(D_{cen} + D_{ui} \cos \alpha)n_n}{D_{cen}}. \quad (5)$$

Вводя связующий коэффициент в виде  $K_1 = \frac{0,5(D_{cen} + D_{ui} \cos \alpha)}{D_{cen}}$  и отмечая, что

$K_1 \triangleright 0,5$ , выражение (5) можно записать как  $n_{cen} = K_1 n_n$ .

Выражение (2) с учетом связующего коэффициента  $K_1$  приобретает вид

$$N = 60ZK_1n_nL_h.$$

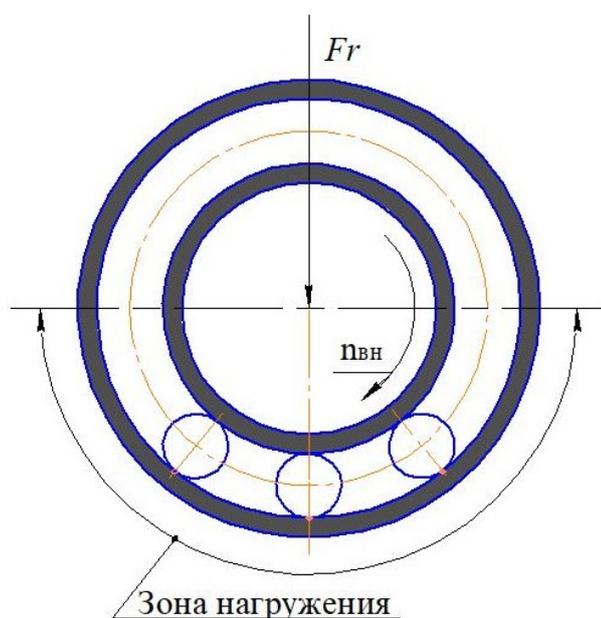
Отметим, что время работы подшипника  $L_h$  в часах связано с продолжительностью работы  $L$  в млн. оборотов вращающегося кольца как

$$L_h = \frac{10^6 L}{60n}.$$

Тогда число циклов нагружения опасной точки за  $L$  млн. оборотов наружного кольца можно найти как

$$N = 10^6 ZK_1L. \quad (6)$$

На рис. 2 показан случай, когда вращается внутреннее кольцо подшипника, а наружное кольцо остается условно неподвижным.



**Рис. 2.** Схема к определению числа циклов нагружения при вращающемся внутреннем кольце и условно неподвижным наружном кольце подшипника

Такой случай характерен, например, для подшипниковых узлов механических редукторов, коробок перемены передач и др. Наиболее нагруженной является точка, расположенная

в зоне контакта тела качения с наружным кольцом по линии действия, например, вертикальной радиальной силы  $F_r$ . В этом случае опасная точка находится на наружном кольце, а тела качения, например, от вертикальной радиальной силы  $F_r$ , контактируют с ней в зоне нагружения в виде дуги в  $180^\circ$ .

Предположим, что внутреннее кольцо вращается с частотой  $n_{вн}$ , а сепаратор с телами качения условно неподвижен. При этом за один оборот внутреннего кольца опасная точка нагружается  $0,5Z$  раз, здесь  $0,5Z$  - число тел качения в зоне нагружения. Тогда число циклов нагружения опасной точки от тел качения за  $L_h$  часов работы составит

$$N = 0,5Zn_{вн} 60L_h.$$

На практике сепаратор с телами качения вращается в сторону вращения внутреннего кольца, и фактическое число циклов нагружения определяется разностью  $(n_{вн} - n_{cen})$ :

$$n_{вн} - n_{cen} = n_{вн} \left[ 1 - \frac{0,5(D_{cen} - D_{ш} \cos \alpha)}{D_{cen}} \right] = n_{вн} \left[ \frac{0,5(D_{cen} + D_{ш} \cos \alpha)}{D_{cen}} \right] = n_{вн} K_1.$$

С учетом этого

$$N = 0,5Zn_{вн} K_1 60L_h = 10^6 \cdot 0,5ZK_1 L.$$

При вращении внутреннего кольца нагрузка  $F_r$  распределена неравномерно между телами качения в зоне нагружения. Следовательно, интенсивность нагружения фиксированной опасной точки наружного кольца при вращении внутреннего кольца сначала увеличивается до определенного максимального значения по линии действия  $F_r$ , а затем уменьшается. Предложено учитывать этот факт с помощью коэффициента эквивалентности  $K_{экв} < 1$  [3]. С учетом этого число циклов нагружения будет равно

$$N = 0,5 \cdot 10^6 ZK_1 K_{экв} L. \quad (7)$$

#### Выводы

Из сравнительного анализа формул (6) и (7) можно сделать вывод, что при вращении внутреннего кольца шарикоподшипника число циклов нагружения примерно в 2 раза меньше по сравнению со случаем вращения наружного кольца.

Применяемые исследовательские и нормативные методики расчета на долговечность [3], [4], [5] для случаев, когда вращается наружное кольцо подшипника, предусматривают увеличение радиальной нагрузки по сравнению со случаем вращения внутреннего кольца на 20%, что видимо не соответствует их реальной циклической нагруженности, т.к. не учитывают интенсивности циклического нагружения фиксированной опасной точки наружного кольца.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 18855-2013 (ISO 281-2007). Подшипники качения. Динамическая грузоподъемность и номинальный ресурс [Текст]. – Введ. 2015–07–01. – М: Стандартинформ, 2014, 74 с.
2. Леликов О.П. Подшипники качения: справочник. М.: Инновационное машиностроение, 2017, 667 с.
3. Справочник по триботехнике. Т.2. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1990, 416 с.

4. Расчет на прочность деталей машин: справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шор, Г.Б. Иосилевич. М.: Машиностроение, 1993, 640 с.

5. Курмаз Л.В., Скойбеда А.Т. Детали машин. Проектирование: справочное учебно-методическое пособие. М.: Высш. шк., 2005, 309 с.

#### References

1. GOST 18855-2013 (ISO 281-2007). Rolling bearings. Dynamic load capacity and rated life [Text]. - Introduce. 2015-07-01. - М: Standartinform, 2014, 74 sec.

2. Lelikov O.P. Rolling bearings: a reference book. М.: Innovative engineering, 2017, 667 sec.

3. Handbook of tribotechnics. Т.2. Lubricants, lubrication technology, sliding and rolling bearings / under total. ed. M. Hebdu, A.V. Chichinadze. М.: Mashinostroenie, 1990, 416 sec.

4. Strength calculation of machine parts: a reference book / I.A. Birger, B.F. Shor, G.B. Iosilevich. М.: Mashinostroenie, 1993, 640 sec.

5. Kurmaz L.V., Skoybeda A.T. Machine parts. Design: reference teaching aid. М.: Higher. shk., 2005, 309 sec.

УДК 621.822.722

*Воронежский государственный  
технический университет  
Магистранты кафедры строительной  
техники и инженерной механики  
гр. мСДМ-201  
И.А. Хрипушин, Е.В. Башкатов  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-77-01-29  
e-mail: [sdm@vgasu.vrn.ru](mailto:sdm@vgasu.vrn.ru)*

*Voronezh State  
Technical University  
Master students of the department of  
construction equipment and engineering  
mechanics gr. mСДМ-201  
I.A. Khripushin, E.V. Bashkatov  
Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 2-77-01-29  
e-mail: [sdm@vgasu.vrn.ru](mailto:sdm@vgasu.vrn.ru)*

И.А. Хрипушин, Е.В. Башкатов

### **ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТНОГО МЕТОДА ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ**

Рассмотрен пример подготовки исходных данных для расчета показателей надежности шлицевого вала-шестерни. Эти данные необходимые для расчетного подтверждения гамма-процентного ресурса изделия получены на основе прочностных расчетов вала.

**Ключевые слова:** показатели надежности, исходные данные для расчета.

I.A. Khripushin, E.V. Bashkatov

### **PREPARATION OF INITIAL DATA FOR THE CALCULATION METHOD FOR CONFIRMING RELIABILITY INDICATORS**

An example of preparing initial data for calculating the reliability indicators of a splined gear shaft is considered. These data, necessary for the calculated confirmation of the gamma-percentage resource of the product, were obtained on the basis of the strength calculations of the shaft.

**Keywords:** reliability indicators, initial data for calculation.

Расчетные методы основаны на вычислении показателей надежности изделия по данным полученным на основе прочностных расчетов с учетом функциональной структуры изделия и видов разрушения.

Эти данные зависят от назначения изделия, степени отработки отдельных его элементов, насыщенности конструкции изделия серийно выпускаемыми комплектующими, степени соответствия реальных и предполагаемых условий и режимов эксплуатации.

Исходные данные о надежности комплектующего изделия формируется по техническим условиям или по другим нормативно-техническим документам на это изделие, с корректировкой в зависимости от степени использования параметров технической характеристики этого изделия [1, 2].

Что касается элементов конструкции изделия собственного производства, то исходными данными являются требования к показателям его надежности, обоснованные с помощью структурного анализа, рабочих чертежей и расчета прочности. Если имеются материалы испытаний любого назначения, то следует воспользоваться содержащейся в них полезной информацией.

Расчетное подтверждение гамма-процентного ресурса изделия является задачей подчиненной, поскольку основной задачей является подтверждение ресурса оборудования в целом. Но эта основная задача не может быть решена расчетным путем без подтверждения ресурса основных деталей изделия. Поэтому для решения этой задачи, прежде всего, необходимо по рабочим чертежам и данным прочностных расчетов выполнить расчеты ресурсов деталей.

Рассмотрим в качестве примера ведущий вал мотор-редуктора, конструкция и схема действующих на него нагрузок показаны на рис. 1, а значения этих нагрузок и ординаты эпюр изгибающих и крутящих моментов в каждом из четырех расчетных режимов работы приведены в табл. 1 для каждого расчетного сечения в зоне концентраторов напряжений [1, 2].

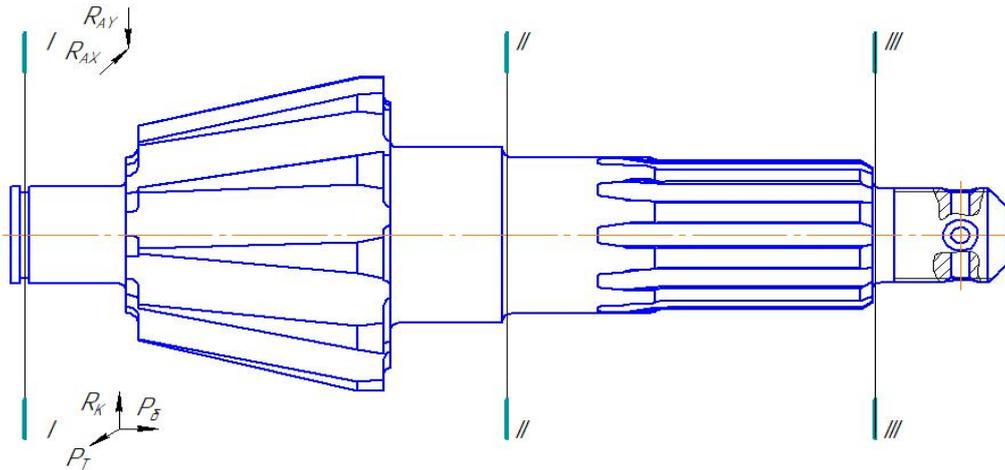


Рис. 1. Ведущий вал мотор-редуктора сепаратора ПБС-90/210 и схема его нагружения

Таблица 1

Расчетные нагрузки и реакции опор А и В

Параметры режимов работы	Обозначение	Единица измерения	Режимы работы			
			I	II	III	IV
Относительная продолжительность работы	$q$	-	0,05	0,15	0,2	0,6
Частота вращения вала	$n_b$	мин <sup>-1</sup>	3,92	13,09	24,93	45,69
Тяговое усилие	$P_T$	кН	21	19	13	4
Боковая нагрузка	$P_\delta$	кН	7,2	7,2	-	-
Вертикальная реакция	$R_K$	кН	46,66	46,66	46,66	46,66
Реакция опор в соответствующих плоскостях	$R_{ax}$	кН	26,58	24,05	16,54	5,06
	$R_{ay}$	кН	34,72	35,5	49,67	53,21
	$R_{bx}$	кН	9,93	8,99	6,15	1,89
	$R_{by}$	кН	55,04	49,45	44,49	19,32
Нагрузка (окружное усилие и поперечная сила на ведущей шестерне)	$P_x$	кН	15,51	14,04	9,6	2,96
	$P_y$	кН	66,98	60,6	41,47	12,76

Вал изготовлен из стали 40Х с термообработкой поверхности до твердости HB241...302. Для такого термообработанного материала предел прочности и предел текучести при изгибе равны  $\sigma_b = 690$  МПа,  $\sigma_m = 704$  МПа.

Согласно требованиям к надежности мотор-редуктора сепаратора, 90%-ный ресурс вала должен быть не менее  $T_{p90} = 1800$  ч.

Поскольку вал работает в условиях переменной нагрузки, то наиболее вероятная форма его деформации – это усталостное разрушение. Поэтому можно считать, что распределение ресурса будет подчинено закону Вейбулла с коэффициентом вариации  $V_b = 0,3$ , для которого соответствующие характеристики  $K_b$  и  $b$  распределения могут быть определены по рис. 2.2 ( $K_b = 0,9$ ;  $b = 3,8$ ).

На рис. 2 видно, что вал имеет три концентратора напряжения, в сечениях которых определяются нормальные и касательные напряжения. Расчетные значения этих напряжений представлены в табл. 2 для четырех режимов работы.

Следуя методам, изложенным в работе [3], определяются пределы выносливости вала в каждом расчетном сечении концентратора напряжений (табл. 3). При расчете на усталостную прочность учитываются те максимальные напряжения, которые превышают или равны половине предела выносливости вала по данному виду нагружения [1-5].

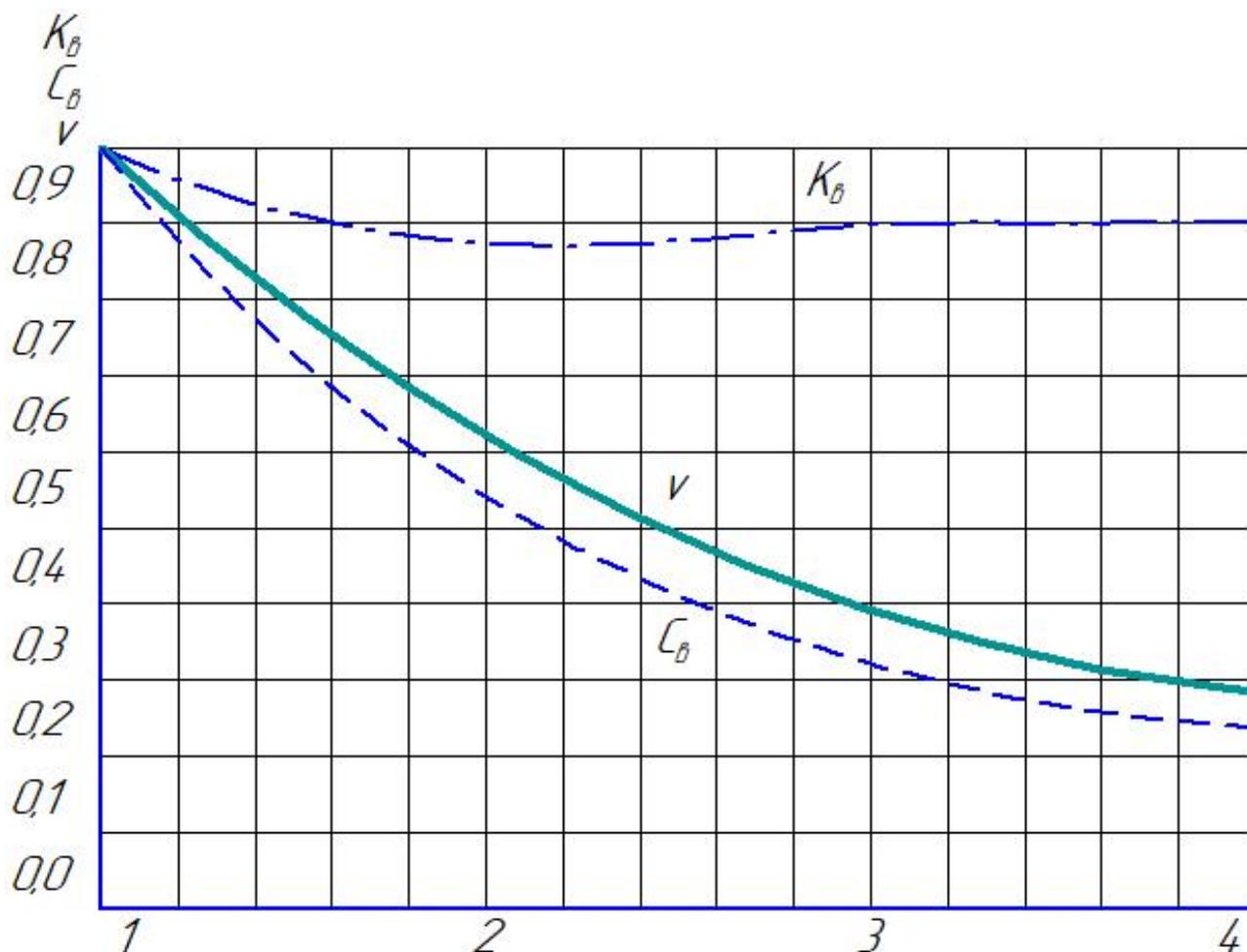


Рис. 2. Коэффициенты распределения Вейбулла

Таблица 2

Нормальные и касательные напряжения в расчетных сечениях вала

Нормальные напряжения в расчетных сечениях $\sigma_a$ , МПа				
I-I	24,2689	23,994	19,341	18,701
II-II	14,6280	14,014	26,212	12,337
III-III	7,7530	6,6505	17,652	12,691
Касательные напряжения в расчетных сечениях $\tau_a$ , МПа				
I-I	59,1353	53,503	36,607	11,263
II-II	55,1767	49,921	34,167	10,509
III-III	46,0989	41,708	28,537	8,7808

Таблица 3

Пределы выносливости вала в расчетных сечениях

№ сечения	Вид концентратора напряжения	Вид нагружения	$\bar{\sigma}_{-1Д}$ ,	$\bar{\sigma}_a^{max}$ ,	$K_{изг}$ , $K_{кр}$
			$\bar{\tau}_{-1Д}$ , МПа	$\bar{\tau}_a^{max}$ , МПа	
I-I	Выточка	Изгиб, кручение	80,3	24,3	5,07
			78,2	59,1	3,12
II-II	Галтель	Изгиб, кручение	88,1	26,2	4,62
			81,1	55,2	3,01
III-III	Галтель	Изгиб, кручение	151,9	17,7	2,68
			95,7	46,1	2,55

В предпоследней графе табл. 3 приведены максимальные  $\sigma_a^{max}, \tau_a^{max}$  рассчитанные значения нормальных и касательных напряжений в сечениях (см. табл. 2.1). В последней графе табл. 2.3 даны коэффициенты концентрации в каждом сечении для каждого вида нагружения ( $K_{изг}, K_{кр}$ ).

Как видно из табл. 2.3, нормальные напряжения во всех сечениях ниже половины предела выносливости вала при изгибе, поэтому далее эти значения в расчетах не учитываются.

Касательные напряжения учитываются во всех сечениях, кроме сечения IV – IV, где действующее напряжение в 3 раза меньше предела выносливости, и сечения VI – VI, где касательных напряжений нет.

### Вывод

Полученные результаты прочностных расчетов и выполненные расчеты ресурсов служат исходными данными, по которым определяются значение вероятности обеспечения ресурса детали и значение ее гамма-процентного ресурса.

### Библиографический список

1. Асадуллин Э.З. Основы надежности машин: учебное пособие. – М.: Российский университет кооперации, 2013. – 99 с.

2. Волков Д.П., Николаев С.Н. Надежность строительных машин и оборудования: учебн. пособие. – М.: Высш. школа, 1979. – 400с.
3. Зубарев Ю. М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении: Учебник. – СПб.: Издательство «Лань», 2015. – 320 с.
4. Жулай В.А., Еременко Е.Е. Повышение надежности сепаратора ПБС-90/210А // Высокие технологии в строительном комплексе. – Воронеж. : ВГТУ. – 2019. – № 1. – С. 119 – 123.
5. Жулай В.А., Василенко А.В., Тюнин В.Л., Крестников А.В. Комплект мобильной цифровой аппаратуры для обеспечения проведения экспериментальных исследований землеройно-транспортных машин // Механизация строительства. – 2015. – № 8 (854). С. 14–16.

#### References

1. Asadullin E.Z. Fundamentals of Machine Reliability: A Study Guide. - M.: Russian University of Cooperation, 2013. - 99 p.
2. Volkov D.P., Nikolaev S.N. Reliability of construction machines and equipment: textbook. allowance. - M. : Higher. school, 1979. - 400s.
3. 3. Zubarev Yu. M. Calculation and design of fixtures in mechanical engineering: Textbook. - St. Petersburg: Publishing house "Lan", 2015. - 320 p.
4. 4. Zhulai V.A., Eremenko E.E. Improving the reliability of the PBS-90/210A separator // High technologies in the construction industry. - Voronezh. : VSTU. - 2019. - No. 1. - P. 119 - 123.
5. 5. Zhulai V.A., Vasilenko A.V., Tyunin V.L., Krestnikov A.V. A set of mobile digital equipment to ensure the conduct of experimental studies of earth-moving machines // Construction Mechanization. - 2015. - No. 8 (854). pp. 14–16.

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

УДК 625.7

*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](mailto:bora.av@mail.ru)*

*Канд. техн. наук, доцент*

*В.П. Волокитин;*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-343-59-37*

*e-mail: [nova.vp@mail.ru](mailto:nova.vp@mail.ru)*

*Студент 3 курса Дорожно-транспортного  
факультета Ф.М. Абрамов*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(950) 754-81-44*

*e-mail: [abramov2001@mail.ru](mailto:abramov2001@mail.ru)*

*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](mailto:bora.av@mail.ru)*

*Cand. of Tech. Science, Associate prof.*

*V.P. Volokitin;*

*Russia, Voronezh, tel. +7-910-343-59-37*

*e-mail: [nova.vp@mail.ru](mailto:nova.vp@mail.ru)*

*Third year student of the Faculty of Roads and  
Transport F.M. Abramov*

*Russia, Voronezh, tel. +7(950) 754-81-44*

*e-mail: [abramov2001@mail.ru](mailto:abramov2001@mail.ru)*

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

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЛИРА-САПР ДЛЯ ПРОВЕРКИ АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ФЕРМЫ**

В настоящее время программные комплексы повсеместно применяются не только в проектных организациях, но и внедряются в учебный процесс ВУЗов, что значительно упрощает усвоение учебного материала студентами и, в дальнейшем, позволяет им в кратчайшие сроки на рабочем месте в организации-работодателе. В данной статье рассмотрено применение ПК ЛИРА-САПР для проверки результатов, полученных аналитически в ходе расчета фермы методом вырезания узлов.

**Ключевые слова:** ПК ЛИРА-САПР; расчет фермы; усилия в стержнях фермы.

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

## **USING THE LIRA-CAD SOFTWARE PACKAGE FOR CHECKS OF THE ANALYTICAL CALCULATION OF THE FARM**

Currently, software complexes are widely used not only in project organizations, but are also being introduced into the educational process of universities, which greatly simplifies the assimilation of educational material by students and, in the future, allows them to work in the employer organization in the shortest possible time. This article discusses the use of the LIRA-CAD PC to verify the results obtained analytically during the calculation of the farm by cutting nodes.

**Keywords:** PC LIRA-CAD; farm calculation; efforts in farm rods.

В настоящее время с решением задач по обеспечению надежности строительных конструкций на стадии проектирования справляются многие программные комплексы, такие как: ПК "Ли́ра-САПР", SCADoffice, AutodeskRobot. В данной статье будут рассмотрены основные возможности ПК "Ли́ра-САПР" и его функционал.

ЛИРА-САПР позволяет быстро провести необходимый анализ. В нем реализован режим вариантного проектирования, позволяющий пользователю в одной задаче варьировать сечениями элементов, материалами, нормативами и т.п.

В качестве объекта исследования мы имеем статически определимую балочно-консольную ферму, закрепленную на шарнирно-подвижную (слева) и шарнирно-неподвижную опору (справа).

Ферма состоит из 12 пролетов длиной 3,4 метра каждый, имеет общую высоту 5,6 метра.

Введем необходимые для вычисления понятия:  $U_i$ -стержни нижнего пояса,  $V_i$ - вертикальные стержни (стойки),  $D_i$ -раскосы,  $O_i$ -стержни верхнего пояса. Учтем, что первый вертикальный стержень имеет индекс 0.

Шарнирно-неподвижной опоре присвоим обозначение А, шарнирно-подвижной индекс В.

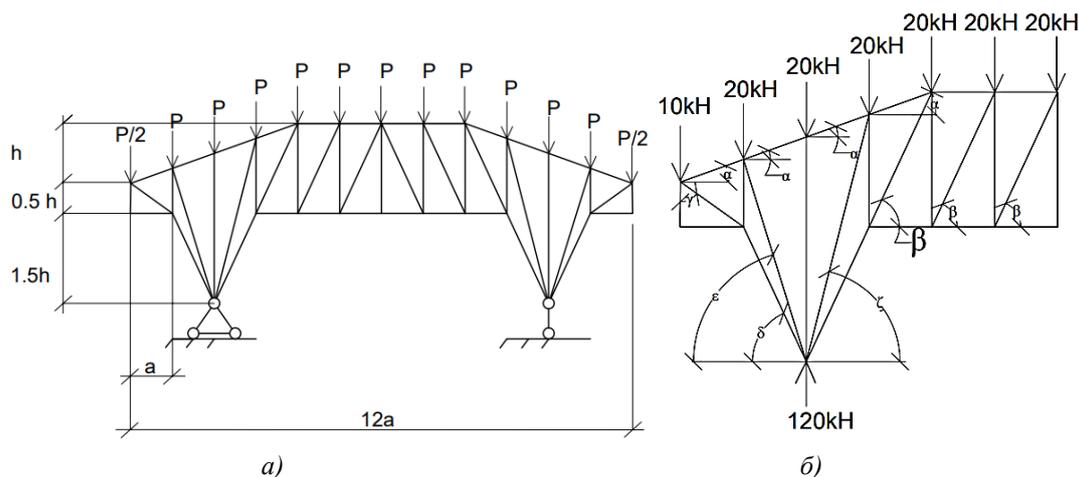


Рис. 1. Расчетная схема фермы (а), левая часть рассеченной фермы (б)

Расчет фермы начинаем с определения опорных реакций.

Горизонтальная нагрузка на систему не действует, следовательно горизонтальная составляющая опорной реакции в опоре А равна нулю т.е.  $H_A=0$ . Поскольку ферма симметрична и находится под действием симметричной нагрузки, вертикальные реакции опор определим из проекции всех сил на ось Y:

$$\Sigma Y=0;$$

$$V_A+V_B+(2*(-P/2)+11*(-P))=0;$$

$$V_A=V_B=120 \text{ kN}$$

Далее непосредственно переходим к расчету данной фермы на узловую нагрузку.

Рассечем ферму вертикальным сечением на две части. Рассмотрим левую часть (рис.1б)

Таблица 1

### Градусные меры углов в ферме

Символ	Градусная мера
$\alpha$	$11.48^\circ$
$\beta$	$55.2^\circ$
$\gamma$	$31.7^\circ$
$\delta$	$51.1^\circ$
$\epsilon$	$64.1^\circ$
$\zeta$	$68^\circ$

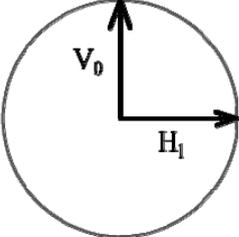
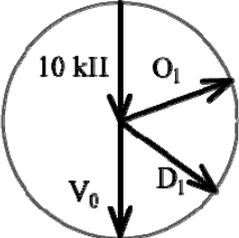
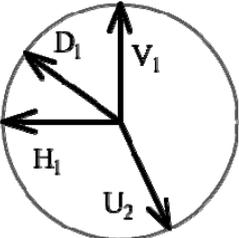
Расчет усилий в стержнях фермы будем выполнять методом вырезания узлов.

При этом способе мысленно вырезаем узел и рассматриваем его равновесие. Используя уравнения  $\Sigma_x=0$  и  $\Sigma_y=0$ . Начнем с узла, где сходятся два стержня и после определения усилия в них, переходим к более сложным узлам (где пересекаются 3, 4 и т.д. стержня).

Расчет фермы предоставлен в таблице 2.

Таблица 2

Расчет левой части фермы аналитически

	<p>По первому признаку нулевых стержней: Если незагруженном узле сходятся два стержня, то они нулевые</p> $V_0=0$ $H_1=0$
	$\Sigma_x=0$ $O_1 \cdot \cos(11.48^\circ) + D_1 \cdot \cos(31.7^\circ) = 0$ $\Sigma_y=0$ $-10 - V_0 - D_1 \cdot \sin(31.7^\circ) + O_1 \cdot \sin(11.48^\circ) = 0$ $D_1 = (-10 + O_1 \cdot \sin(11.48^\circ)) / (\sin(31.7^\circ))$ $O_1 = 12.4 \text{ (кН)}$ $D_1 = -14.3 \text{ (кН)}$
	$\Sigma_x=0$ $-D_1 \cdot \cos(31.7^\circ) + U_2 \cdot \cos(51.1^\circ) = 0$ $\Sigma_y=0$ $V_1 + D_1 \cdot \sin(31.7^\circ) + U_2 \cdot \sin(51.1^\circ) = 0$ $V_1 = -7.5 \text{ (кН)}$ $U_2 = -19.3 \text{ (кН)}$

Дальнейший расчет проводим по аналогии.

Симметричность фермы и приложенных нагрузок позволят нам выполнять расчет только левой части конструкции. Усилия в стержнях в правой части равны усилиям в левой.

Перейдем к расчету аналогичной фермы в программном комплексе ЛИРА-САПР. Построение расчетной схемы выполняется в следующей последовательности. Вкладка Создание и редактирование-Генерация ферм. Далее подбираем подходящую схему по очертанию поясов, затем по очертанию решетки.

После этого создаем опоры и граничные условия в них. В нашем случае – это шарнирно-подвижная опора слева и шарнирно-неподвижная справа.

Далее с помощью пункта меню Жесткости и связи-Жесткости задаем параметры связи (рис.2).

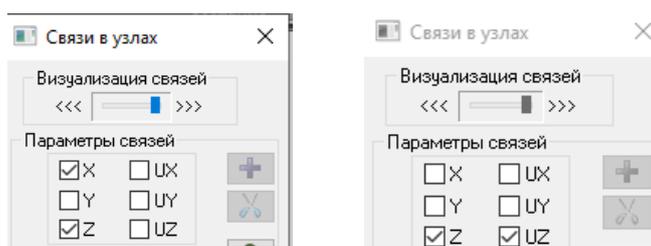


Рис. 2. Назначение параметров связей в шарнирно-неподвижной опоре и шарнирно-подвижной опоре

Затем выделяем узлы, к которым приложены силы и с помощью пункта меню Нагрузки на узлы, прикладываем сосредоточенные силы (рис.3).

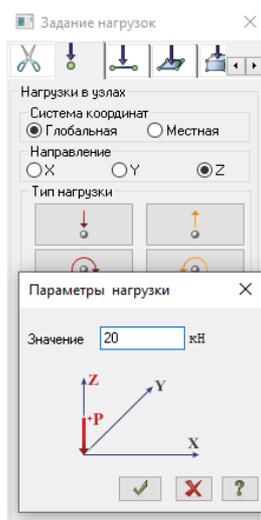


Рис. 3. Задание узловой нагрузки

Переходим во вкладку Расчет-Выполнить расчет.

После того, как ПК выполнит расчет, переходим во вкладку Анализ-Усилия в стержнях -Эпюры продольных сил N. Для более наглядного представления результата, представленного на рисунке 4, рекомендуется выбрать отображение не эпюр, а мозаики усилий в стержнях.

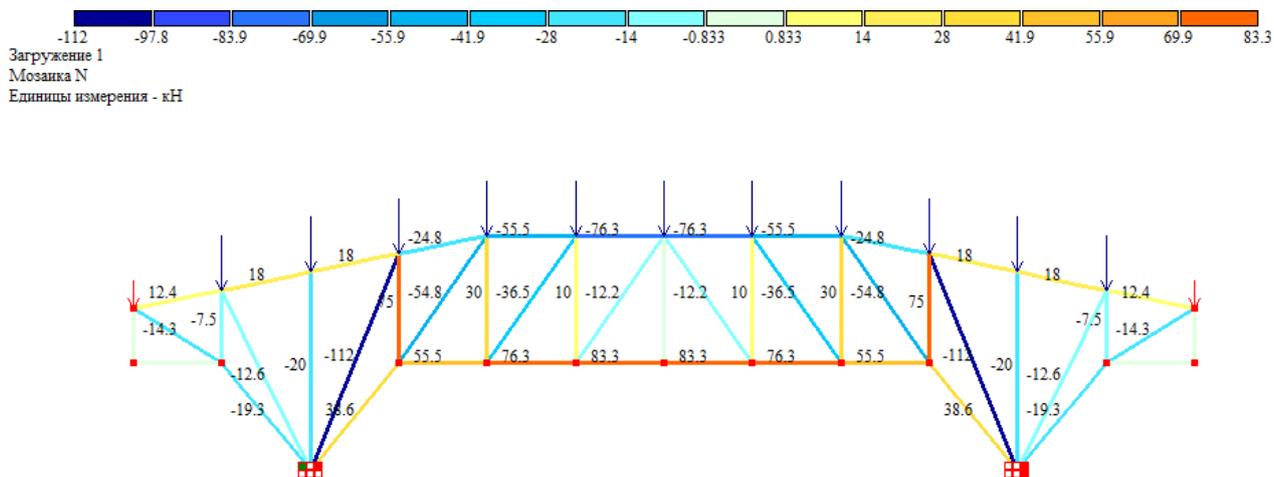


Рис. 4. Значения внутренних усилий в стержнях, полученных в ПК ЛИРА-САПР

### Выводы

Проведя сравнительный анализ результатов, полученных аналитически и в ПК, можно сделать вывод, что погрешность вычислений незначительна и значения продольных сил N отличаются не более чем на 1 кН. Это свидетельствует о правильности аналитического расчета. Разумеется, вычисления в ПК ЛИРА-САПР занимают на много меньше времени и дают более точный результат.

## Библиографический список

1. ГОСТ 27751-2014 «Надежность и безопасность строительных конструкций и оснований. Основные положения»
2. [Электронный ресурс] - URL: <http://autodesk.ru>.
3. [Электронный ресурс] - URL: <http://liraland.ru>.
4. Копылов В.Н. Применение программного комплекса ЛИРА-САПР для оценки надежности безопасности строительных конструкций , диссертация , Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург ,2020 .

## References

1. GOST 27751-2014 "Reliability and safety of building structures and foundations. Basic provisions"
2. [Electronic resource] - URL: <http://autodesk.ru> .
3. [Electronic resource] - URL: <http://liraland.ru> .
4. Kopylov V.N. Application of the LIRA-CAD software package for assessing the reliability of the safety of building structures, dissertation, Ural Federal University. The First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, 2020.

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Доцент, канд. техн. наук*

*Э.Е. Семенова*

*Магистрант Ф.С. Абдулхамидов*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(910) 341-19-39*

*e-mail: [abdulxamidov.firuz@bk.ru](mailto:abdulxamidov.firuz@bk.ru)*

*Voronezh State*

*Technical University*

*Associate professor, cand. tech. sciences*

*E.E. Semenova*

*Undergraduate F.S. Abdulhamidov*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 341-19-39*

*e-mail: [abdulxamidov.firuz@bk.ru](mailto:abdulxamidov.firuz@bk.ru)*

Э.Е. Семенова, Ф.С. Абдулхамидов

## **АНАЛИЗ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ РЕГИОНОВ С ЖАРКИМ КЛИМАТОМ**

В настоящее время, один из более распространенный вопрос в современном строительстве, является повышения энергоэффективности наружных ограждающих конструкции, повышение теплозащитных функций зданий, его обеспечения требуемой долговечности и повышения надежности в эксплуатации.

**Ключевые слова:** наружные стены, выбор утеплителя, энергосбережение, экономия энергии, теплозащита.

E.E. Semenova, F.S. Abdulhamidov

## **ANALYSIS OF THE DESIGN OF EXTERNAL FENCING STRUCTURES FOR REGIONS WITH A HOT CLIMATE**

Currently, one of the more common issues in modern construction is to increase the energy efficiency of external building envelopes, increase the heat-shielding functions of buildings, ensure the required durability and increase reliability in operation.

**Keywords:** external walls, choice of insulation, energy saving, energy saving, thermal protection.

Рост цен на тепловую энергию и коммунальные услуги выдвигает на передний план жизненно важную потребность в повышении теплозащиты зданий с целью снижения затрат на отопление в процессе эксплуатации.

Одним из наиболее эффективных путей экономии энергии в строительном секторе признано сокращение потерь тепла через ограждающие конструкции наружных стен зданий и сооружений. Наружная дополнительная теплоизоляция ограждающих конструкций обеспечивает снижение затрат на отопление здания до 40<sup>^</sup>50 %.

В соответствии с современными строительными нормами требуемое сопротивление теплопередаче увеличилось в 3-3,5 раза по сравнению со старыми нормами.

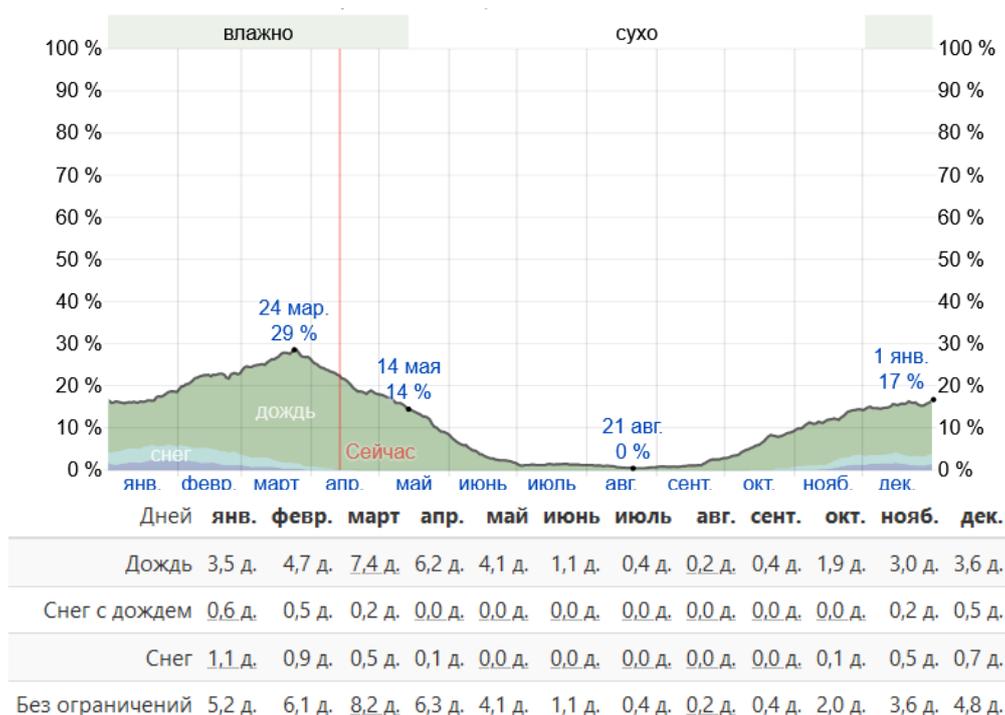
Один из вариантов повышения энергоэффективности ограждающих конструкций жилых, общественных и производственных зданий, является применение эффективных утеплителей в конструкциях наружных стен, покрытиях, перекрытиях и перегородках. Существующие варианты утепления зданий отличаются как конструктивными решениями, так и используемыми в конструкциях материалами.

Рациональным и эффективным способом повышения теплозащиты эксплуатируемых зданий является дополнительное наружное утепление ограждающих конструкций. При проектировании новых и реконструкции существующих зданий предусматривают теплоизоляцию из эффективных материалов, размещая ее с наружной стороны ограждающей конструкции. В отечественной практике для утепления ограждающих строительных конструкций наибольшее применение нашли:

- Пенополистирол
- Теплоизоляционный материал шлаковата
- Теплоизоляционный материал стекловата
- Плиты пеноплекс
- Эковата
- Минеральный теплоизоляционный материал
- Рефлекторные теплоизоляционные материалы
- Пенополиуретан

Применение эффективных стен рассмотрим на примере многоэтажного элитного жилого здания высотой 62.7 м, из которых 8.6 м. находятся ниже уровня земли. Здание запроектировано из монолитного бетона марки М250 и класса прочности В20. Место строительство Республика Таджикистан, город Душанбе.

Душанбе является городом с жарким климатом, максимальной температурой +35°C в летний период (месяц июль) и минимальный -1°C в зимний период (месяц январь). Холодный период в Душанбе продлится не долго, и часто наблюдаются сильные дожди весной, что и приводит к повышенной влажности. Самый влажный сезон длится 5,4 месяца с 2 декабря по 14 мая. Результаты процент влажности земли представлены на рисунке 1.



**Рис. 1.** Процент дней, в которые наблюдаются различные типы осадков в городе Душанбе: только дождь, только снег и смешанные (и дождь, и снег выпали в один и тот же день)

Для защита помещения от проникновения влаги, холода, осадков в фундамент или в стены находящейся ниже уровня земли, был выбран пенополистирол (пенопласт) марки ПСБ-35. Характеристики утеплителя пенопласта представлены в таблице.

## Характеристики утеплителя пенопласта

Характеристики	Марки пенопласта				Примечания
	ПСБ С 50	ПСБ С 35	ПСБ С 25	ПСБ С 15	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	35	25	15	8	Повышенная плотность ПС-4, ПС-1
Стойкость на излом, МПа	0,30	0,25	0,018	0,06	
Стойкость к сжатию (МПа)	0,16	0,16	0,08	0,04	
Способность впитывать влагу, %	1	2	3	4	При погружении на срок 24 часа
Теплопроводность, Вт/мк	0,041	0,037	0,039	0,043	
Время самозатухания, сек. / Класс горючести	3	1	1	4	При отсутствия прямого контакта с открытым пламенем Нормально горючие
	ГЗ	ГЗ	ГЗ	ГЗ	
Коэффициент паропроницаемости	0,05	0,05	0,05	0,05	

Пенопласт – это один из наиболее популярных теплоизоляционных материалов для стен. Он широко применяется во всех строительных сферах и относится к категории недорогих утеплителей. Затраты по производству работ минимальны, на стену монтируется посредством приклеивания, работать с таким материалом намного удобнее и не требуется дополнительных усилений к конструктивным элементам стен.

Стены которые находятся ниже уровня земли, из-за попадания влаги от осадков в грунт теряют свои требуемые характеристики. С целью защиты стен, была выбрана теплоизоляционная мембрана Rockwool, с применением огнезащитных добавок (антипиренов). Мембрана имеет многослойную структуру с множеством микроскопических пор. Расположены они таким образом, чтобы выпустить пар изнутри, но не впустить снаружи. Схема установки мембраны с пенополистиролом представлены на рисунке 2.

Уникальная и однородная структура мембран делает их незаменимыми для повышения энергоэффективности здания:

- защищают теплоизоляционные материалы;
- гарантируют герметичность дома, делая изоляцию сооружения максимальной эффективной.

Все материалы, применяемые в проекте, отвечают требованиям нормативных документов (ГОСТ) и имеют соответствующие сертификаты. Выбранные материалы в данном объекте соответствует по своим физико-механическим свойства и качество не ниже соответствующего стандарта (ГОСТ).

Рекомендуется перед укладкой гидроизоляционной мембраны:

- поверхность очистить от пыли, масляных пятен, пленки цементного молока;
- если гидроизоляционная мембрана чувствительна к перепадам температур и ультрафиолетовому излучению рекомендуется выполнять гидроизоляционный пирон захватками с одновременным выполнением защитного слоя;
- в угловые сопряжения строительных конструкций на которые укладывается гидроизоляция должны иметь скругление или фаску;
- послойная укладывать мембрану соединяя между собой с проверкой на герметичность и закрепить к конструкциям.

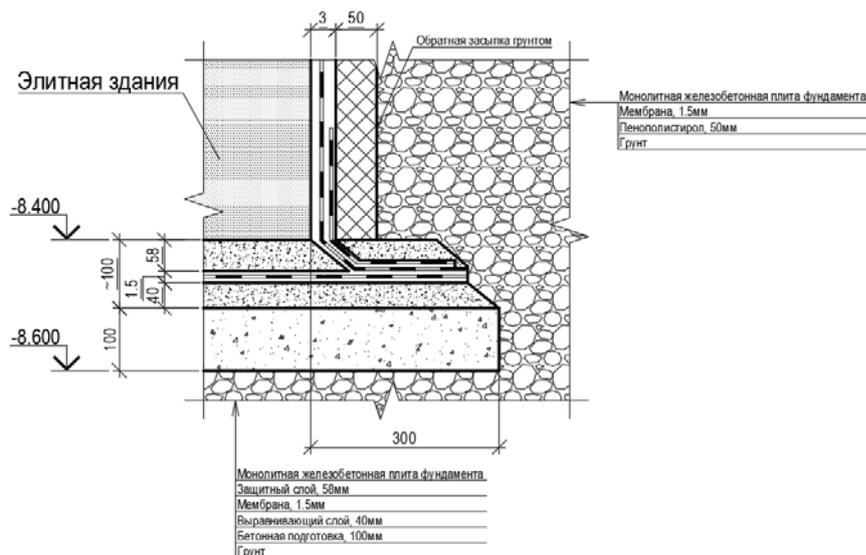


Рис. 2. Схема установки утеплителя находящейся ниже уровня земли

Исследование отечественной и мировой практики позволило сделать вывод по применению энергоэффективных технологий. Энергоэффективные здания могут сделать жилищное строительство средством решения многих экологических и энергетических проблем, стоящих перед человечеством. Также при эксплуатации таких объектов средства, затраченные на строительство, окажутся выгодными не только в смысле энергосбережения, но и в смысле сбережения здоровья, а это самый главный наш ресурс.

#### Библиографический список

1. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. Утвержден и введен в действие 1 июня 2004 г. совместным приказом ОАО «ЦНИИпромзданий» и ФГУП ЦНС от 23.04.2004г. № 01.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Утвержден приказом Минрегиона России от 30.06.2012г. №265.
3. Семенова Э.Е. Влияние объемно-планировочного решения на энергоэффективность здания / Э.Е. Семенова, Г.В. Пономарева/- Текст: непосредственный // Строительство и реконструкция: сборник научных трудов научно-практической конференции, 28 мая 2019 года, Юго-Западный государственный университет. – Курск, 2019. -С. 105-109.
4. Пути повышения энергоэффективности гражданских зданий / Э.Е. Семенова, М.Г. Самсонова, Д.Е. Нецепляев, В.Ю. Компанец. – Текст: непосредственный // Инженерных системы и сооружения. – 2019. - №3 (36). – С. 20-24.

#### References

1. SP 23-101-2004. Design of thermal protection of buildings. Approved and put into effect on June 1, 2004 by a joint order of OJSC "TsNIIpromzdaniy" and Federal State Unitary Enterprise CNS dated April 23, 2004 No. 01.
2. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Updated edition of SNiP 23-02-2003. Approved by order of the Ministry of Regional Development of Russia dated June 30, 2012 No. 265.
3. Semenova E.E. Influence of the space-planning decision on the energy efficiency of the building / E. Semenova, G.V. Ponomareva / - Text: indirect // Construction and reconstruction: collection of scientific papers of the scientific and practical conference, May 28, 2019, SWSU. - Kursk, 2019. -P. 105-109.
4. Ways to improve the energy efficiency of civil buildings / E.E. Semenova, M.G. Samsonova, D.E. Netseplyaev, V.Yu. Companion. – Text: direct // Engineering systems and structures. - 2019. - No. 3 (36). - P. 20-24.

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ**

УДК 504.064.4

*Донецкий национальный  
технический университет,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры природоохранной деятельности  
Макеева Дарья Александровна,  
ДНР, г. Донецк, тел. +38 071-420-25-17  
e-mail: daria.makejeva@mail.ru  
Донбасская Национальная академия строи-  
тельства и архитектуры,  
кандидат технических наук, доцент кафед-  
ры наземных транспортно-технологических  
комплексов и средств  
Кралин Андрей Константинович,  
ДНР, г. Макеевка,  
тел. +380713310583  
e-mail: a.k.kralin@donnasa.ru*

*Donetsk National Technical University,  
Ph.D. (Technical Sciences),  
Associate Professor of the Department of  
Environmental Activities  
Makejeva Daria Aleksandrovna,  
DPR, Donetsk, tel. +38 071-420-25-17  
e-mail: daria.makejeva@mail.ru  
Donbass National Academy of Civil Engineering  
and Architecture,  
Ph.D. (Technical Sciences), Associate Professor  
of the Department of Ground Transportation  
and Technological Complexes and Facilities,  
Kralin Andrey Konstantinovich,  
DPR, Makeevka,  
tel. +380713310583  
e-mail: a.k.kralin@donnasa.ru*

Д.А. Макеева, А.К. Кралин

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ПОРОДНЫХ ОТВАЛАХ**

В статье рассмотрены вопросы перспективы использования автономных энергетических комплексов, расположенных на породных отвалах и промышленных площадках закрытых шахт отдельных районов горнодобывающих регионов. В Донбассе есть широкие возможности использования альтернативно-энергетического потенциала породных отвалов, расположения на них ветроэнергетических установок и комплексов, включающих установки для синтеза компонентов моторного топлива и фотоэлектрические панели. Новые возможности в этом направлении даёт создание интерактивной карты и базы данных породных отвалов Донецкого региона.

**Ключевые слова:** породный отвал, экологическая безопасность, автономный энергокомплекс, ветроэнергоустановка.

D.A. Makejeva, A.K. Kralin

## **PROSPECTS FOR THE USE OF AUTONOMOUS ENERGY COMPLEXES LOCATED ON ROCK DUMPS**

The article discusses the prospects for the use of autonomous energy complexes located on rock dumps and industrial sites of closed mines in certain areas of mining regions. There are ample opportunities to use the alternative energy potential of rock dumps, the location of photo-wind power plants and complexes on them, including installations for the synthesis of motor fuel components in Donbass..New opportunities in this direction are provided by the creation of an interactive map and a database of waste dumps in the Donetsk region.

**Keywords:** rock dump, environmental safety, autonomous energy complex, wind turbine.

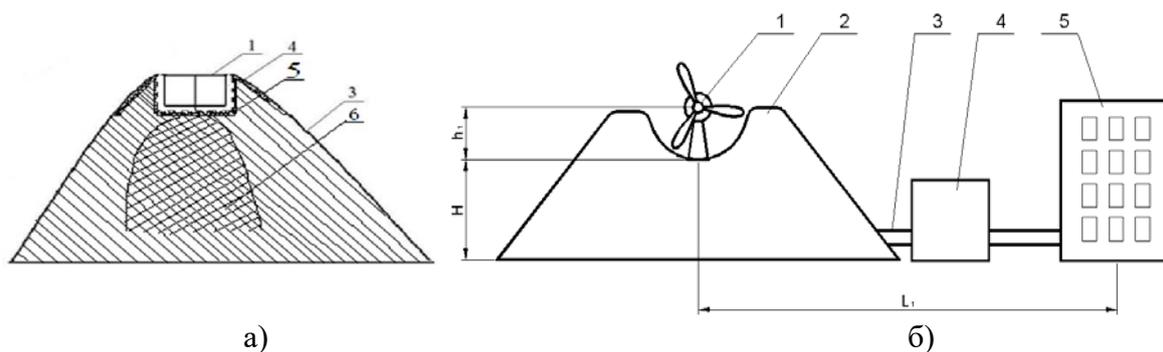
На территории Донбасса, промышленного, угледобывающего региона находится большое количество отходов угледобычи. По данным Государственного комитета экологической политики при Главе ДНР в настоящее время (2022 год) количество породных отвалов региона составляет 586, из которых 144 расположены в городе Донецке [1].

Породные отвалы представляют постоянную экологическую опасность для окружающей среды, основными составляющими которой являются: пылегазовое загрязнение атмосферы; нарушение гидрогеологического режима близлежащих территорий, химическое и радиологическое загрязнение почв и вод, нарушение природного ландшафта земной поверхности, тепловые выбросы и радиоактивное загрязнение.

Наилучшим способом обращения с отвалами является их полная разборка, но по ряду причин в Донбассе в настоящее время этот способ не может быть реализован. Однако, существуют эффективные способы снижения вредного воздействия породных отвалов на окружающую среду такие, как предотвращение самовозгорания отвалов, тушение горящих отвалов, управление кислотными и соледержащими отходами, формирование растительного покрова отвалов, частичная разборка и рекультивация. Также, исходя из того, что отвалы обладают альтернативно-энергетическим потенциалом, являются источником ценного сырья, существует необходимость внедрения новых способов использования их потенциала. Повышение уровня экологической безопасности отдельных регионов является логичным и эффективным шагом повышения уровня экологической безопасности государства в целом.

Современные зарубежные учёные Китая [2], Канады, Франции [3], Австралии [4] подробно рассматривают и анализируют вред, который наносится окружающей среде отходами горнодобывающих предприятий, и предлагают различные способы обращения и идеи для устойчивого гидрогеохимического управления отходами, а также разборки отвалов и рекультивации. В работах отечественных учёных [5, 6, 7] проводится анализ создания, эксплуатации и модернизации автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии.

Авторами в содружестве с другими учёными была обоснована целесообразность и возможность использования автономных энергетических комплексов, расположенных на породных отвалах [8]. Речь идёт о ветроэнергетических установках, которые предлагается располагать на не горящих отвалах, которые находятся в посёлках, отдалённых от инфраструктуры и в которых градообразующее предприятие-шахта не работает. На рисунке 1 представлены схемы расположения автономных ветроэнергетических установок на породных отвалах.

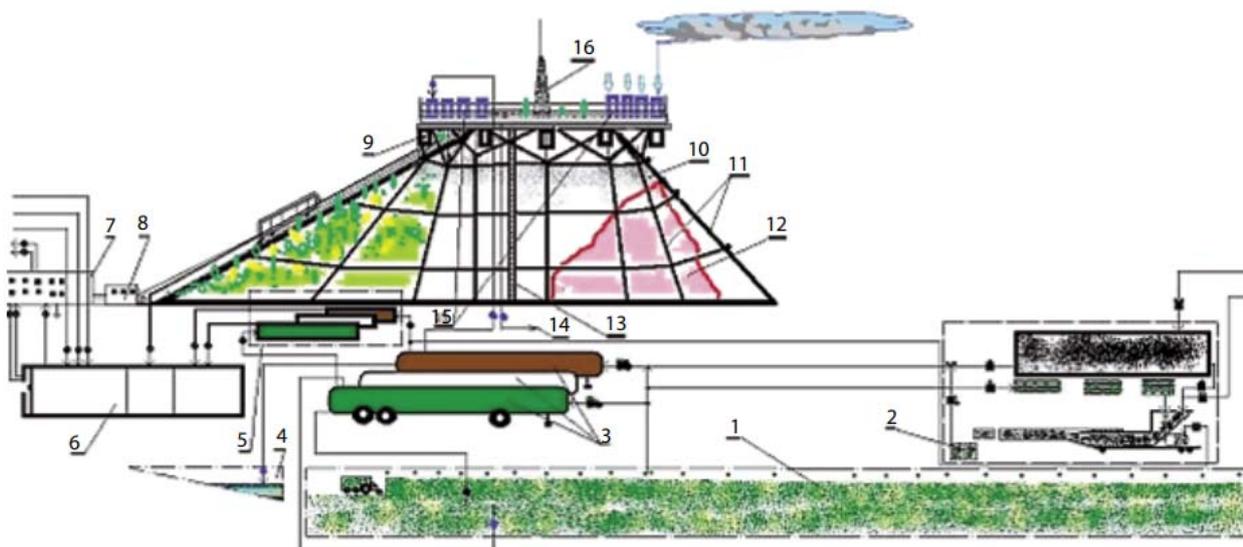


**Рис. 1.** Схемы расположения автономной ВЭУ

в искусственном рельефе-концентраторе ветрового потока на породном отвале:

- а: 1 – ветрогенератор; 2 – металлическая мачта (при установке на отвале – отсутствует); 3 – породный отвал; 4 – искусственные рельефы; 5 – укрепляющий слой; 6 – керамическая, монолитная масса.  
 б: 1 – ВЭУ; 2 – искусственный рельефный аэродинамический канал на породном отвале; 3 – линия электропередачи; 4 – трансформатор; 5 – потребительской энергии;  $L_1$  – расстояние от ВЭУ до потребителя;  $h_1$  – высота мачты ВЭУ;  $H$  – высота установки ВЭУ

А также о размещении одновременно с фото-ветроустановкам у породных отвалов био-энергокомплексов для эксплуатации дизель-электродгенераторов и установок синтеза компонентов жидкого моторного биотоплива, схема которого представлена на рисунке 2.



**Рис. 2.** Технологическая линия мини-энергокомплекса:

- 1 – энергополе топинамбура; 2 – участок приготовления сырья; 3 – установки для синтеза компонентов моторного топлива («Красный Луч – 2»); 4 – отстойник технической воды; 5 – мини-электростанции;
- 6 – электроподстанция соседней шахты; 7 – административно-бытовой комбинат; 8 – участок транспорта с мастерскими; 9 – фотоветроэлектростанция; 10 – террикон с частичным озеленением; 11 – опорный каркас из наклонных свай и мостовых конструкций; 12 – подкоп горелой породы; 13 – лестница запасная;
- 14 – трубопровод для технической воды; 15 – емкости накопительные; 16 – молниеотвод

В Донецком регионе существует особенность, которую необходимо учитывать при планировании работ, связанных с использованием породных отвалов и установкой автономных систем энергоснабжения – это нарушение особого режима использования санитарно-защитных зон отвалов. Сложилось так, что часто СЗЗ старых отвалов застроена. На рисунке 3 представлена в качестве примера застроенная СЗЗ отвала в Червоногвардейском районе города Макеевки и террикона шахты 6-бис.



**Рис. 3** Застроенная санитарно-защитная зона отвала в Червоногвардейском районе города Макеевки и террикона шахты 6-бис

Эта особенность является одним из аргументов в пользу создания автономных комплексов энергоснабжения с использованием породных отвалов. Производство энергии в этом

случае будет максимально приближено к потребителю. В случае использования базы закрытых угольных шахт можно свести к минимуму затраты на создание подобных комплексов. Использование такой схемы даёт возможность обеспечить районы резервной электроэнергией на случай повреждения основных линий электропередач, а в перспективе, обеспечивать энергией не зависимо от основной электросети. Сооружение и установка конструкций должна вестись в соответствии с общими строительными и горно-планировочными нормами и с учётом индивидуальных особенностями конкретного отвала.

Специалистами Государственного комитета экологической политики при Главе ДНР была систематизирована информация по породным отвалам Донецкого региона. Теперь есть возможность оперировать данными, которые касаются принадлежности, состояния, параметров породных отвалов и на основании этого принимать решения о возможностях применения тех или иных мероприятий, связанных и использованием потенциала эти объектов в каждом конкретном посёлке или районе города. На рисунке 4 представлен элемент интерактивной карты из каталога породных отвалов Донецкого региона.

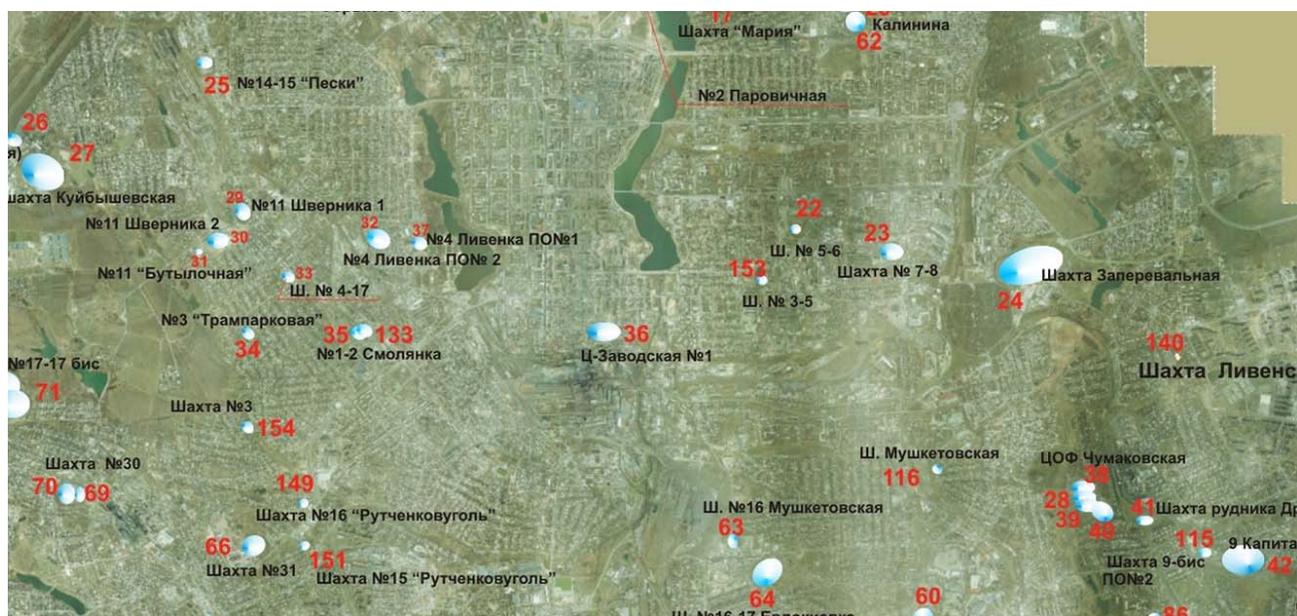


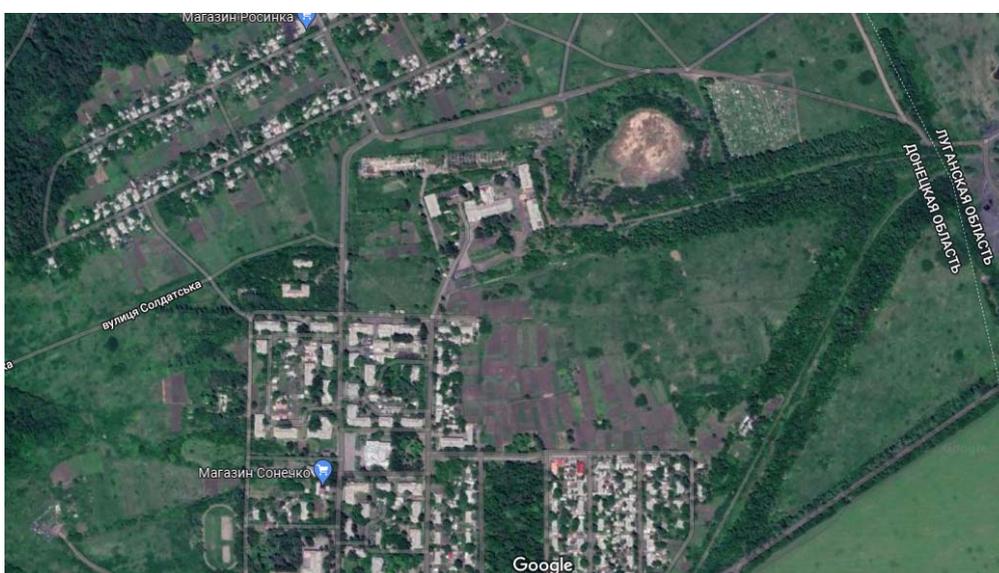
Рис. 4. Элемент интерактивной карты

На территории Республики находится 58 горящих отвалов. На этих объектах нельзя проводить никакие технические и планировочные мероприятия до полного прекращения процесса горения. Однако, остальные отвалы потенциально пригодны для использования в качестве площадок для создания энергокомплексов для посёлков, удалённых от инфраструктуры или районов города, в которых они расположены (Безусловно, это возможно после анализа химического состава и физических параметров). В качестве примеров таких районов на рисунках 5 и 6 приведены посёлок Горное (47.981395, 38.289527) и посёлок Залесное (48.033420, 38.816883).

Автономное энергоснабжение таких посёлков позволит повысить независимость жителей от центрального электроснабжения и избавит от проблем, возникающих при обрывах линий электропередач. В дальнейшем система позволит питать электричеством от альтернативных источников посёлков в период максимального потребления, а в период минимального потребления передавать избыток энергии в сеть. Этому будет предшествовать работа по налаживанию работы системы хранения и передачи энергии.



**Рис. 5.** Породный отвал на территории посёлка Горное



**Рис. 6.** Породный отвал на территории посёлка Залесное

Дальнейшие исследования в этом направлении коснутся особенностей расположения энергокомплексов применительно условиям конкретных районов, расчётам энергетической, экономической и экологической эффективности.

Внедрение схем использования автономных энергокомплексов на породных отвалах позволит повысить уровень энергетической безопасности отдельных районов, и, следовательно, государства в целом; снизить использование ископаемых видов топлива и выбросов в атмосферу.

#### Библиографический список

1. Породные отвалы Донецка – сайт Государственного комитета экологической политики при Главе ДНР <http://dongeosociety.ru/wp-content/uploads/2016/06/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D0%BE%D1%82%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%8B-%D0%B4%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%86%D0%BA%D0%B02.jpg>.

2. Ying Wang, Xueling Wu, Siyuan He, Ruiqing Niu Eco-environmental assessment model of the mining area in Gongyi, China, Scientific Reports volume 11, Article number: 17549 (2021) [https://www-nature-com.translate.goog/articles/s41598-021-96625-9?error=cookies\\_not\\_supported&code=95e9d7df-cf71-425a-af70-5f68b5da22ab&\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=ru&\\_x\\_tr\\_hl=ru&\\_x\\_tr\\_pto=op,sc](https://www-nature-com.translate.goog/articles/s41598-021-96625-9?error=cookies_not_supported&code=95e9d7df-cf71-425a-af70-5f68b5da22ab&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=op,sc).

3. Bas Vriens, Benoît Plante, Nicolas Seigneur, Heather Jamieson Mine Waste Rock: Insights for Sustainable Hydrogeochemical Management Kingston, ON K7N1A1, Canada Fontainebleau, France (Novel and Emerging Strategies for Sustainable Mine Tailings and Acid Mine Drainage Management) *Minerals* 2020, 10(9), 728; <https://doi.org/10.3390/min10090728>.

4. Valenzuela, L, Bard, E, Campaña, J & Anabalón, ME 2008, 'High Waste Rock Dumps — Challenges and Developments', in AB Fourie (ed.), Rock Dumps 2008: Proceedings of the First International Seminar on the Management of Rock Dumps, Stockpiles and Heap Leach Pads, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 65-78, [https://doi.org/10.36487/ACG\\_repo/802\\_6](https://doi.org/10.36487/ACG_repo/802_6).

5. Симанков, В. С., Бучацкий, П. Ю., Шопин, А. В. Подход к реализации эффективного автономного энергокомплекса с возобновляемыми источниками энергии / Дистанционные образовательные технологии // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Издательство типография «Ариал», Симферополь, 2018, стр. 43-246 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35641884>.

6. Люкайтис, В. Ю., Глушков, С. Ю. Автономные энергокомплексы, гибридные конструкции с применением возобновляемых источников энергии / Журнал: Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы // Учредители: ООО "АМП КОМПЛЕКТ" eISSN: 2618-8716, Том 2, Номер 2, 2019, с. 111-120 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38510122>.

7. Бучацкий П. Ю., Шопин А. В. Модернизация системы электро- и теплоснабжения автономного потребителя с использованием возобновляемых источников энергии / Вестник адыгейского государственного университета. серия 4: естественно-математические и технические науки № 1 (236) // Адыгейский государственный университет, Майкоп, 2019, стр. 88-92 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38553232>.

8. Ефименко, А. А. Экологическая безопасность и энергетическая независимость Донбасса / А. А. Ефименко, Д. А. Макеева, Д.А. Козырь и др. // 2021 Уголь № 6-2021 Ежемесячное научно-техническое и производственно-экономическое издание, Москва DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-6-58-61>.

## References

1. Rock dumps of Donetsk - the website of the State Committee for Environmental Policy under the Head of the DPR <http://dongeosociety.ru/wp-content/uploads/2016/06/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D0%BE%D1%82%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%8B-%D0%B4%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%86%D0%BA%D0%B02.jpg>.

2. Ying Wang, Xueling Wu, Siyuan He, Ruiqing Niu Eco-environmental assessment model of the mining area in Gongyi, China, Scientific Reports volume 11, Article number: 17549 (2021) [https://www-nature-com.translate.goog/articles/s41598-021-96625-9?error=cookies\\_not\\_supported&code=95e9d7df-cf71-425a-af70-5f68b5da22ab&\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=ru&\\_x\\_tr\\_hl=ru&\\_x\\_tr\\_pto=op,sc](https://www-nature-com.translate.goog/articles/s41598-021-96625-9?error=cookies_not_supported&code=95e9d7df-cf71-425a-af70-5f68b5da22ab&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=op,sc).

3. Bas Vriens, Benoît Plante, Nicolas Seigneur, Heather Jamieson Mine Waste Rock: Insights for Sustainable Hydrogeochemical Management Kingston, ON K7N1A1, Canada Fontainebleau, France (Novel and Emerging Strategies for Sustainable Mine Tailings and Acid Mine Drainage Management) *Minerals* 2020, 10(9), 728; <https://doi.org/10.3390/min10090728>.

4. Valenzuela, L, Bard, E, Campaña, J & Anabalón, ME 2008, 'High Waste Rock Dumps — Challenges and Developments', in AB Fourie (ed.), *Rock Dumps 2008: Proceedings of the First International Seminar on the Management of Rock Dumps, Stockpiles and Heap Leach Pads*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 65-78, [https://doi.org/10.36487/ACG\\_repo/802\\_6](https://doi.org/10.36487/ACG_repo/802_6).

5. Simankov, V. S., Buchatsky, P. Yu., Shopin, A. V. Approach to the implementation of an efficient autonomous energy complex with renewable energy sources / *Distance educational technologies // Proceedings of the III All-Russian scientific and practical conference*, Publishing house printing house "Arial", Simferopol, 2018, pp. 43-246 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35641884>.

6. Lukaitis, V. Yu., Glushkov, S. Yu. Autonomous energy complexes, hybrid structures using renewable energy sources / *Journal: Power and power equipment. Autonomous systems // Founders: AMP KOMPLEKT LLC eISSN: 2618-8716, Volume 2, Number 2, 2019, p. 111-120* <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38510122>.

7. Buchatsky P. Yu., Shopin A. V. Modernization of the power and heat supply system of an autonomous consumer using renewable energy sources / *Bulletin of the Adyghe State University. series 4: natural-mathematical and technical sciences No. 1 (236) // Adyghe State University, Maykop, 2019, pp. 88-92* <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38553232>.

8. Efimenko, A. A. Ecological safety and energy independence of Donbass / A. A. Efimenko, D. A. Makeeva, D. A. Kozyr et al. // *2021 Coal No. 6-2021 Monthly scientific, technical and production-economic publication, Moscow DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-6-58-61>*.

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

УДК 621.671.22

*Воронежский государственный  
технический университет  
К.т.н., доцент М.Н. Краснова  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 246-19-77  
e-mail: [mkrasnovam@inbox.ru](mailto:mkrasnovam@inbox.ru)*  
*Воронежский государственный  
технический университет  
Магистрант С.Д. Новопольцев  
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (951) 559-19-53  
e-mail: [sevenjackpot@yandex.ru](mailto:sevenjackpot@yandex.ru)*  
*Воронежский государственный  
технический университет  
Магистрант Н.С. Жидких  
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (960) 113-99-66  
e-mail: [zhidkikh.n@vgasu.vrn.ru](mailto:zhidkikh.n@vgasu.vrn.ru)*  
*Воронежский государственный  
технический университет  
Магистрант Н.С. Ласкин  
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 346-63-50  
e-mail: [laskin-nik@mail.ru](mailto:laskin-nik@mail.ru)*

*Voronezh State  
Technical University  
D.Sc. (Engineering), docent M.N. Krasnova  
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 246-19-77  
e-mail: [mkrasnovam@inbox.ru](mailto:mkrasnovam@inbox.ru)*  
*Voronezh State  
Technical University  
Master's student S.D. Novopoltsev  
Russia, Voronezh, tel. +7 (951) 559-19-53  
e-mail: [sevenjackpot@yandex.ru](mailto:sevenjackpot@yandex.ru)*  
*Voronezh State  
Technical University  
Master's student N.S. Zhidkikh  
Russia, Voronezh, tel. +7 (960) 113-99-66  
e-mail: [zhidkikh.n@vgasu.vrn.ru](mailto:zhidkikh.n@vgasu.vrn.ru)*  
*Voronezh State  
Technical University  
Master's student N.S. Laskin  
Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 346-63-50  
e-mail: [laskin-nik@mail.ru](mailto:laskin-nik@mail.ru)*

М.Н. Краснова, С.Д. Новопольцев, Н.С. Жидких, Н.С. Ласкин

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОЛЕСА МАГИСТРАЛЬНОГО НАСОСА**

В данной статье рассматриваются причины появления скрытой кавитационной эрозии в центробежных насосах, способы восстановления рабочего колеса магистрального насоса с целью последующего увеличения его эксплуатационных свойств и показателей.

**Ключевые слова:** кавитация, восстановление, лазерная наплавка, магистральный насос, рабочее колесо, нефтеперерабатывающее производство.

M.N. Krasnova, S.D. Novopoltsev, N.S. Zhidkikh, N.S. Laskin

## **MAIN LINE PUMP IMPELLER WORK SURFACE RECONDITIONING**

This article discusses the appearance origins of the concealed cavitation erosion in centrifugal pumps, the methods of pump impeller reconditioning to increase its performance characteristics.

**Key words:** cavitation, reconditioning, laser metal deposition, main line pump, impeller, petroleum refinery.

## Введение

Поддержание магистральных насосов в рабочем состоянии имеет важное значение в нефтеперерабатывающем производстве, поэтому профилактическое обслуживание является обязательной операцией.

Зачастую рабочие колёса насосов страдают от кавитационного износа, а также от попадания на рабочие поверхности твердых частиц, содержащихся в перекачиваемой жидкости, которые обладают режущим воздействием на детали гидромашин [1].

С появлением новых способов по восстановлению изношенных деталей, конструктора пришли к выводу, быстрее и выгоднее восстановить старую деталь, чем создавать новую.

### Кавитация в центробежных насосах

В центробежных насосах кавитация возникает при низком давлении на входе в рабочее колесо насоса. Опыт показывает, что область минимального давления располагается внутри проточной части насоса, чаще всего на задней стороне входной части лопастей, рисунок 1.

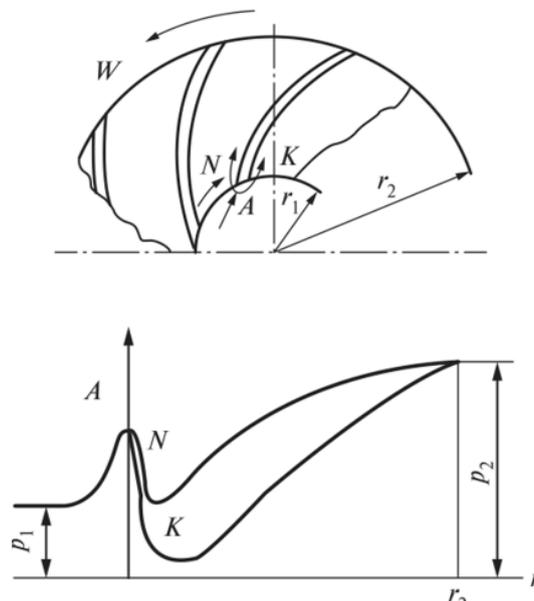


Рис. 1. Изменение давления внутри проточной части насоса

Явление кавитации сопровождается эрозией стенок каналов, повышенной вибрацией, падением напора, мощности, КПД.

Согласно РД 39-0147103-342-89, при эксплуатации насосного агрегата его техническое состояние меняется вследствие износа деталей и узлов. Скорость потери работоспособности насосного агрегата и его элементов определяется индивидуальными особенностями насоса, начальным состоянием и режимом его эксплуатации. В результате износа растут все виды потерь, что ведет к снижению КПД. Снижение КПД является основным показателем, определяющим вывод НА в ремонт. Снижение КПД относительно базовых значений на следующие величины [2]: НМ 10000 - 210 — на 2 % говорит о необходимости ремонта.

В рамках планового обслуживания магистрального насоса, который проработал около 35 000 тысяч часов, было замечено снижение напора на выходе насоса и как следствие снижение КПД насоса составило более 2%.

При полном разборе насоса на лопатках рабочего колеса были обнаружены многочисленные кавитационные повреждения, рисунок 2.



**Рис. 2.** Износ лопаток рабочего колеса

В ходе обсуждений было предложено несколько вариантов по ремонту насоса:

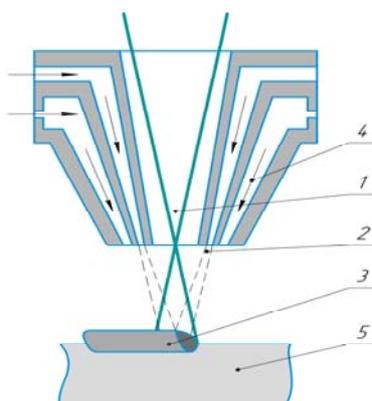
1. Изготовить новое рабочее колесо, но это бы означало длительный технологический процесс, большие временные и экономические затраты;
2. Повторно профилировать лопатки насоса. Данный вариант означал бы утонение стенок лопатки, и поскольку кавитация со временем продолжится, долговечность колеса значительно сократится вплоть до серьёзных поломок насоса;
3. Восстановить изначальную геометрию колеса с помощью современных технологий.

Одним из таких методов по восстановлению деталей машин является лазерная наплавка металла, конечным результатом которой является твердосплавное покрытие, которое увеличивает ресурс любых деталей машин.

#### Сущность метода

Наплавка – это эффективный способ восстановления изношенных или улучшения прочностных характеристик деталей механизмов и машин [3].

Технология восстанавливает детали и механизмы машин, на которые при эксплуатации воздействуют динамические нагрузки и рабочие части которых подвержены повышенному износу. Генерируемым станком луч создаёт на поверхности изделия ванну расплава. Далее в эту зону подают присадки: проволока, газопорошок, порошок или другой материал. В результате образуется плотный слой наплавки, восстанавливающий изношенную структуру изделий.



**Рис. 3.** Схема процесса лазерной наплавки порошком:  
 1 – лазерное излучение, 2 – подача порошка, 3 – наплавленный материал,  
 4 – подача защитного газа, 5 – деталь

Лазерная наплавка в некотором смысле уникальна по сравнению с традиционными методами наплавки и сварки, лазерная наплавка имеет высокоскоростной термический цикл, который обеспечивает более высокую прочность и более мелкую микроструктуру, что способствует устойчивости к коррозии.

Выделяют несколько преимуществ лазерной наплавки:

1. Контролируемое малое проплавление;
2. Высокие адгезионные свойства. Прочное соединение наплавляемого покрытия с исходным материалом;
3. Небольшая область термического влияния;
4. Работа с труднодоступными поверхностями;
5. Быстрый нагрев и охлаждение наплавляемого материала;
6. Минимальное смешивание наплавляемого и основного материала.

Исходя из вышеперечисленных преимуществ, для восстановления лопаток рабочего колеса был выбран метод лазерной наплавки.

### Проверка образца на адгезию

Для понимания пригодности перед восстановлением рабочего колеса, необходимо проверить образец наплавки на адгезионную стойкость.

На цилиндрический образец из того же материала, что и исследуемая деталь, наплавляется кольцевой пояс, далее образец продавливается через матрицу. Под действием касательных напряжений происходит срез слоя наплавки, а напряжение сдвига характеризует прочность сцепления наплавленного слоя с основой.

Образец в виде цилиндра, изготовлен из стали 20ГЛ диаметром 24 мм и длиной 25 мм.

Для выполнения нижнего слоя пояса использовался порошок сплава stelite 6, для второго верхнего слоя был использован сплав stelite 1. Составы используемых сплавов представлен в таблице 1.

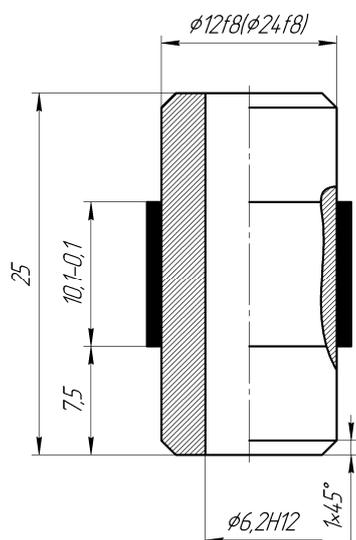


Рис. 4. Образцы под испытания

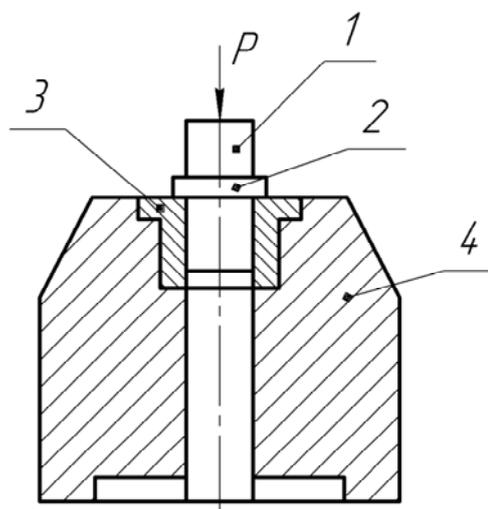


Рис. 5. Схема испытания образцов на прочность сцепления при сдвиге

Толщина наплавленного слоя составляет 0,35...0,8 мм. Ширина наплавленного пояса 10–0,5 мм. После проточки образец продавливают через матрицу изготовленную из инструментальной легированной стали твердостью HRC 54...62. Матрицу 3 вставляют в корпус 4 из стали 45 твердостью HRC 48. Образец без наплавки должен входить по скользящей посадке в матрицу.

Таблица 1

## Составы используемых сплавов

Наименование	Химический состав, % масс.							Твердость
	C	Si	Fe	Cr	Ni	Co	W	HRC
Stellite 6	1,3	1,0	1,5	28,5	1,5	осн.	4,4	43
Stellite 1	2,4	1,1	-	30,0	-	осн.	12,5	56

Прочность сцепления покрытия (МПа) с основным металлом при сдвиге определяют по формуле

$$\tau = \frac{P}{\pi Dh},$$

где  $P$  – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению пояска покрытия, Н;  
 $h$  – ширина пояска, мм;  
 $D$  – диаметр образца, мм.

Статистическую обработку результатов испытаний проводят по ГОСТ 11.004-74 [4].

Прочность сцепления покрытия с основным материалом рассчитаны и показаны в таблице 2

Таблица 2

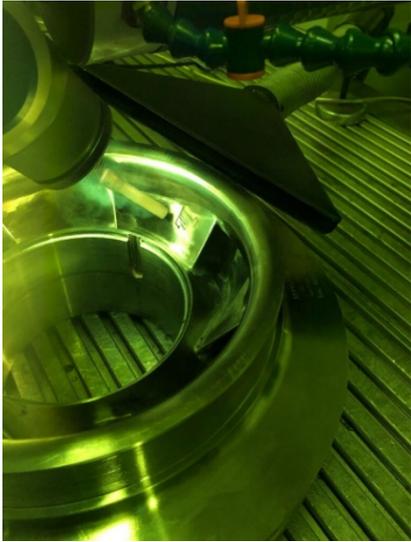
Результаты определения прочности сцепления  
покрытий с основным материалом при наплавке

№	Усилие прессы (разрушающая нагрузка), кН	Прочность сцепления, МПа	Средняя арифметическая величина прочности, МПа	Вид разрушения
1	208,9	1386	1485	Деформация и срез 50% пояса наплавки
2	238	1578		Деформация 0,5 мм и деформация основание бобышки на глубину 1 мм
3	209	1387		Деформация и срез 20% пояса наплавки
4	239	1590		Деформация 0,5 мм и деформация основание бобышки на глубину 1 мм

Экспериментальные данные показали высокую адгезионную стойкость покрытия. В производстве такие параметры адгезионной стойкости отлично показывают себя с точки зрения долговечности и ресурса. Порошок, смешиваясь с образцом, создаёт плотную связь.

Восстановление лопаток рабочего колеса

Для большей гибкости и доступа было выбрано автоматическое управление лазерной головкой по всей ремонтируемой области. Между каждым проходом головки требовался период охлаждения, чтобы температура места ремонта не превышала 100 °С.



**Рис. 6.** Процесс восстановления



**Рис. 7.** Результаты наплавки

После наплавки с помощью шаблонов и шлифовальных инструментов, была восстановлена первоначальная геометрия лопаток, с соблюдением всех технологических процессов, как при изготовлении нового, рисунок 8.



**Рис. 8.** Шлифование поверхности и восстановления геометрии



**Рис. 9.** Проверка капиллярным методом неразрушающего контроля

Готовое рабочее колесо было проверено на наличие дефектов с помощью капиллярного метода контроля. Результаты контроля показали полное отсутствие дефектов на лопатках колеса.

### Выводы

В ходе исследования удалось восстановить рабочие поверхности лопаток колеса магистрального насоса методом лазерной наплавки металла. С помощью испытательного стенда был проведён эксперимент на адгезионную стойкость наплавленного слоя, полученные данные показали высокую адгезионную стойкость. Данный метод является пригодным для восстановления лопаток колеса магистрального насоса.

## Библиографический список

1. Исследование критических зон рабочего колеса центробежного насоса/ Краснова М.Н. Новопольцев С.Д./ DOI: 10.24412/9215-0365-2021-81-1-51-54
2. РД 39-0147103-342-89 Методика оценки эксплуатационных параметров насосных агрегатов нефтеперекачивающих станций магистральных нефтепроводов.
3. Практические применения газотермических технологий нанесения защитных покрытий. Руководство для инженеров. Апрель, 2009г.
4. ГОСТ 11.004-74 Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения.
5. Эксплуатация насосных и компрессорных станций. Учебное пособие/ А. Л. Саруев, Л. А. Саруев: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. –с.

## References

1. Investigation of critical zones of the centrifugal pump impeller/ Krasnova M.N. Novopoltsev S.D./ DOI: 10.24412/9215-0365-2021-81-1-51-54
2. RD 39-0147103-342-89 Methodology for evaluating the operational parameters of pumping units of oil pumping stations of trunk pipelines.
3. Practical applications of gas-thermal technologies for applying protective coatings. A guide for engineers. April, 2009
4. GOST 11.004-74 Applied statistics. Rules for determining estimates and confidence bounds for normal distribution parameters.
5. Operation of pumping and compressor stations. Textbook/ A. L. Saruev, L. A. Saruev: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2017. –p.

УДК 69.05

*Кубанский государственный  
технологический университет,  
Институт строительства и  
транспортной инфраструктуры  
Канд. экон. наук, доц. кафедры технологии,  
организации, экономики строительства и  
управления недвижимостью Г.В. Михеев  
Россия, г. Краснодар,  
тел. +7 (962) 77-62-777  
e-mail: [mgstyle77@yandex.ru](mailto:mgstyle77@yandex.ru)*

*Kuban State  
Technological University,  
Institute of Construction and  
Transport infrastructure  
PhD (Economics), associate prof. of the  
technology, organization, construction  
economics and property management Dept.  
G.V. Mikheev  
Russia, Krasnodar tel. +7 (962) 77-62-777  
e-mail: [mgstyle77@yandex.ru](mailto:mgstyle77@yandex.ru)*

Г.В. Михеев

### **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Обосновано применение автоматизации и внедрение механизированной робототехники в рамках технологических и производственных процессов в строительной отрасли. Определены показатели, которые препятствуют использованию автоматизации и роботизации в России.

**Ключевые слова:** технологии, автоматизация, роботизация, строительство, роботизированная техника.

G.V. Mikheev

### **APPLICATION OF AUTOMATION TECHNOLOGIES AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION**

The use of automation and the introduction of mechanized robotics within the framework of technological and production processes in the construction industry is substantiated. The indicators that hinder the use of automation and robotics in Russia are identified.

**Keywords:** technologies, automation, robotics, construction, robotic equipment.

Введение

Строительство зданий и сооружений считается одной из главных отраслей человеческой жизнедеятельности. В современном мире повышается сложность технологий возведения зданий, а также возрастает разнообразие проектируемых строительных объектов. Строительные процессы возведения здания имеют высокую сложность и опасность в сравнение с другими профессиями. Успех каждого возводимого проекта зависит от трех показателей: качество, стоимость проекта и сроки завершения строительства.

Для улучшения качества характеристик строительного объекта требуется модернизация технологий возведения и производства зданий и сооружений с помощью передовых и новаторских технологий автоматизации и роботизации. Роботизация помогает уменьшить сроки строительства, повышает безопасность и характер выполняемых на строительной площадке задач, а также содержит предпосылки к уменьшению количества людей на опасном пространстве строительных работ.

## Анализ методов использования роботизации в строительной сфере

Релевантная задача исследования состоит из анализа и оценки производительности применения специализированной техники и процессов роботизации и автоматизации при возведении зданий и сооружений, а также ее внедрения на территории России. Важнейшие задачи автоматизации и роботизации строительных процессов и работ с середины 80-х годов 20-го столетия вызывают серьезный интерес у специалистов и научных сотрудников инженерно-исследовательских учреждений строительного профиля. Уровень применения автоматизированных роботов в различных строительных процессах не увеличивается, несмотря на большой ряд научных и проектировочных прототипов в области строительной робототехники [1]. При разработке роботизированной техники для строительной отрасли изучается проектная документация зданий или сооружений, где будут применяться механизированные роботы, а также конструктивные особенности возводимого объекта. С учетом исследования механизации и автоматизации можно классифицировать конструктивные элементы здания или сооружения, а также улучшить технологию определенных строительных процессов с помощью роботизированной техники. Также нужно корректно выбирать механизированных роботов для строительства, так как после расчета окупаемости роботов и анализа затрат, строительная компания может позволить себе внедрение технологий механизации и роботизации исследованных организационно-технологических процессов, в условиях строительного производства. Также технологии автоматизации и роботизации должны обеспечивать положительный экономический эффект.

### Исследование и анализ технологических факторов, причин автоматизации и роботизации строительного производства

В процессы строительного производства, во время переходящих фаз и стадий строительства возникают различные проблемы, которые вызваны неточностью расчетов при проектировании здания или сооружения, несовершенной связью с подрядчиками, а также осложнением получения качественной инженерно-коммуникационной связи между всеми участниками строительного производства. Существует система основных приоритетных задач при использовании технологий автоматизации и роботизации строительного производства, при возведении строительных объектов, которые могут, как спровоцировать негативные явления, так и скорректировать их, а также ускорить процесс возведения зданий и сооружений:

- а) создание новых способов исследований технологии производства строительных изделий и ресурсов, реализации на их базе изучения и проверки завода компании и формирование стандартных сложных доказанных и основанных на принципах науки программ по введению в эксплуатацию роботов и специальных видов технологических процессов при возведении зданий и сооружений;
- б) установка новых передовых и технологических операций и улучшение их за счет производимых с помощью инженерной индустрии механизированных роботов и специального инновационного манипулятора [2];
- в) создание особого назначения манипуляторов, роботов для узконаправленных отраслей строительной промышленности;
- г) стандартизация и создание классификаций для манипуляторов и роботизированной техники, которая применяется на строительных площадках или предприятиях;
- д) разработка и создание технического оборудования для роботизации производственных операций в строительной индустрии, а также оснащения для механизированных роботов;
- е) повышения производительности строительного предприятия и уменьшения сроков возведения зданий и сооружений за счет улучшения технологических процессов и отдельных операций на строительной площадке или производстве, которые будут включать в себя условия и требования автоматизации и роботизации;
- ж) введение в эксплуатацию объединений роботов на отдельных участках и линиях производства или строительной площадки, а также разработка стандарт-

ных комплектов и схем для определенных строительных и производственных работ; 3) подготовка строительных площадок и производств к внедрению в эксплуатацию подвижных механизированных роботов, а также создание на их основе линий, участков и других площадок; и) решение технических и организационных вопросов эксплуатации средств механизированной техники на заводах и проектных площадках в строительной индустрии [3].

Исследования главных отраслей строительных операций сообщает о том, что определенные процессы на строительной площадке могут быть улучшены с помощью применения механизированных роботов. При исследовании трудозатрат на стройке выявлено, что монтажные работы это наиболее сложные и объемные по времени строительные операции. При возведении зданий и сооружений из железобетона главной задачей является автоматизация и роботизация процессов соединения, закрепления, разделения, демонтажа, подачи и установки различных элементов в заданное положение с высокой точностью [4]. В условиях современного экономического пространства России строительные компании решают эти задачи с помощью кранов-манипуляторов, специальной монтажной оснастки, а также позиционирующих роботов. Другой вид работ - малярные работы являются наиболее подготовленными для роботизации, так как на данный момент появилось много различных роботизированных и автоматических роботов, которые имеют дистанционное управление для подачи красок, а также нанесения грунтовки [5]. Малярный вид работ нуждается в роботизации, потому что при анализе технологических операций подготовки и окрашивании стен в рабочей зоне образуется мелкодисперсная аэрозольная воздушная среда, которая наносит вред окружающим работникам строительной площадки. Также применение лакокрасочных материалов опасно, так как они могут вызвать взрыв.

Технологии автоматизации и использования роботизированной техники способствует снижению рабочей нагрузки на строителей, которые заняты физическим трудом при возведении уникальных зданий и сооружений, а также уменьшению количества рабочих на производстве и строительных площадках. Увеличению производительности труда позволяет повысить качество произведенных работ для возведения проекта и уменьшить количество бракованных строительных материалов и изделий при их производстве на заводах, благодаря исключению человеческого и других факторов. За счет высокого спроса и масштабности строительной индустрии, а также ее зависимости от труда рабочих, технологии механизации, автоматизации и применение роботов в различных строительных процессах имеет большой экономический потенциал.

Также важно подчеркнуть, что стоимость жилья в России в большей степени зависит от цен на строительные материалы, изделия и технику. Себестоимость рабочей силы большого влияния не оказывает. Поэтому применение технологий автоматизации и робототехники не влияет на снижение цен на квартиры и дома. Несмотря на это, в настоящее время некоторые строительные компании и производственные предприятия анализируют, исследуют и находят положительные предпосылки для введения в эксплуатацию роботизированной техники.

Главные причины, которые ограничивают и мешают использованию механизированных роботов при возведении зданий и сооружений в России: а) нехватка опыта применения механизированных роботов, методических материалов технического и экономического комплекса роботизированных технологий у российских компаний; б) нехватка исследований и методик технического и экономического комплекса по технологиям применения роботов; в) малое количество квалифицированных работников и специалистов, которые могут обеспечить эксплуатацию и улучшению роботизированной техники; г) нехватка специалистов и инженеров, которые могут создать проект механизированного робота, а также обеспечить его внедрение и технологическую подготовку при возведении зданий и сооружений.

## Особые параметры и характеристики механизированных роботов при возведении зданий и сооружений

В настоящее время производство роботов и механизированной техники развивается. На промышленные роботы первого поколения устанавливалось программное управление. На второе поколение роботизированной техники ставили сенсорные панели с функцией технического зрения. Третье поколение роботов было доработано и улучшено, в этих моделях использовалось интеллектуальное управление.

Малые размеры и хорошие технические характеристики роботизированной техники дают преимущество при перемещении по строительной площадке, а также оптимизирует затраты на строительство. Всего один профессиональный оператор может управлять роботизированной техникой. Применение роботов требуется для уменьшения травматизма рабочих на потенциально опасных участках стройки. Исследуя рынок строительных манипуляторов и роботизированных техник, которые компании предлагают, их можно разделить на несколько групп.

1) Промышленные роботы. Промышленная роботизированная техника в основном используется на заводах. Роботы шарнирно-сочлененного типа очень похожи на человеческую руку – это позволяет использовать их в самых разных работах от простой автоматизированной сборки до сложных сварных работ.

2) Дроны. Беспилотники уже стали для строительной индустрии неотъемлемой частью во всем мире. Дроны управляются дистанционно, поэтому они могут наблюдать за процессом возведения объекта строительной площадке.

3) Самоходные строительные машины. В строительной индустрии уже давно применяются автономные машины. Автономные гусеничные погрузчики (ATL) от Built Robotics комплектуются системой LiDAR, которая измеряет расстояние до объекта по световым импульсам и мощным GPS-комплексом. В результате погрузчик может работать полностью без оператора. С его помощью можно быстро проводить земляные работы на придомовом участке.

4) Роботы-гуманоиды. В наше время многие компании предлагают широкий ассортимент моделей роботов, которые могут выполнять различные операции на строительном объекте. За счет систематизации организации роботизированной техники, которая содержит информацию о его назначении, характере производственных операций, типу мобильности на строительной площадке, а также условиях и требованиях к грузоподъемности и точности координирования, строительная и промышленная роботизированная техника активно взаимодействует с окружающей внешней средой.

### Уровень травматизма, как один из главных и основополагающих сторон использования механизированной робототехники

В современном мире строительство до сих пор остается самой травмоопасной профессией. Во время строительства на рабочей площадке возникает много опасных и вредных факторов, таких как работа на высоте, плохие климатические условия в зависимости от региона, нахождение возле возводимого объекта действующего предприятия или завода.

Представленные выше факторы несут потенциальную угрозу для жизни и здоровья работающих и людей, которые живут возле строительной площадки или проходят мимо. Поэтому строительная площадка должна соответствовать нормативам, чтобы не нести вред окружающим людям, а также рабочим.

Во время процесса стройки объекта, находясь на самой площадке, рабочие могут сталкиваться с различными опасными факторами: присутствие на площадке движущихся механизмов и машин, высокий уровень шума, повышенный вибрационный уровень, опасность поражения от электрических приборов или машин, возможность получения ожога при работе

с горячими мастиками или паяльной лампой, падения с высоты, физические перегрузки, наличие газоопасных и легковоспламеняющихся веществ, повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны в зависимости от времени года, опасность падения на скользких полах, подвижные части производственного оборудования, расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности пола и многое другое в зависимости от климатических особенностей города и рельефа.

Существует несколько предпосылок травматизма на строительной площадке: а) отсутствие наблюдения и контроля за правильным и безопасным ведением работ; б) использование неисправного оборудования, которое может нанести большой урон рабочим, а также стройке; в) несоблюдение рабочими правил техники безопасности на строительной площадке; г) нарушение технологических норм, отсутствие проектов у компании, которая строит здание или сооружение, а также дефицит качественного оборудования и проектных документов; д) работа в плохих климатических условиях; е) работа при повышенном содержании в воздухе рабочих зон опасных и вредных веществ; ж) недостаточное или чрезмерное освещение на строительной площадке, повышенный уровень шума, вибраций, выпадение осадков, а также наличие различных излучений, которые превышают допустимые нормы); з) физические и нервно-психические перегрузки работающего.

Основная причина уменьшения травматизма зависит от правильности выполнении требований безопасности труда на строительной площадке или производстве. Пренебрежение нормами – причина травматизма, которая зависит от следующих факторов: физического и морального состояния и готовности работника, его ответственности, дисциплинированности и внимательности. Одним из главных факторов уменьшения травм рабочих опасных участках строительного объекта является применение технологий механизации, автоматизации и внедрение роботизированной техники.

## Выводы

Благодаря компактности и высокой мощности роботизированных механизмов, компании стали применять их в наиболее тяжелых условиях и труднодоступных местах на строительной площадке, а также роботизация позволяет значительно сократить сроки строительства и количество рабочих на площадке, а также повысить прибыль.

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие выводы: цифровые технологии помогают эффективно и результативно работать в строительной индустрии, внедрение технологий автоматизации и роботизации позволяют в полном объеме уменьшать сроки строительства зданий и сооружений; с помощью автоматизации и роботизации становится возможным возведение различных уникальных сооружений; внедрение механизированных роботов позволит строить дома необычной формы со сложными фасадами, арками и необычным гнутым интерьером; главными положительными факторами технологий механизации, автоматизации и роботизации при возведении зданий и сооружений являются повышенная производительность, возможность работать в труднодоступных и опасных, для нахождения человека, местах, а также в плохих климатических условиях; роботы позволяют уменьшить количество используемых стройматериалов.

В результате выполненных исследований рассмотрена научная проблема анализа специальных механизированных роботов, которые предназначены для возведения уникальных зданий и сооружений. Благодаря решению этой проблемы в России повышается применение и создание отечественных средств и технологий системной автоматизации, роботизации строительных процессов, которые способствуют увеличению производительности и качества выполненных монтажных, отделочных и штукатурных работ, а применение роботов уменьшает рабочий день на стройке и освобождает людей от опасных и вредных условий работы.

## Библиографический список

1. Прохоров С.В. Автоматизация и управление технологическими процессами в строительстве для повышения эффективности производства // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 9. С. 71-75.
2. Гриднева, Я. А. Перспективы интегрированного применения современных цифровых технологий при автоматизации решения системных задач управления в строительстве / Я. А. Гриднева // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 12(102). – С. 82-84.
3. Solovyova E., Sekisov A., Gura D., Mikheev G., Kovtunen M. Developing Optimization Modelling Methodology for Production Costs Generation // Helix. 2020. Vol. 10. Issue 2. Pp. 63-71 URL:<http://helixscientific.pub/index.php/Home/article/view/112/112>, <https://doi.org/10.29042/2020-10-2-63-71>.
4. Хоцеловский С.Е. Внедрение робототехнических систем в строительстве. Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта. 2021. С. 226-227.
5. Михеев Г.В., Яновская Э.Д. Роботизированная техника в строительстве // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2019. № 2. С. 181-188.
6. Стороженко, Е. Н. Автоматизация контроля и учета в строительстве / Е. Н. Стороженко, Д. В. Гулякин // Вестник современных исследований. – 2018. – № 12.13(27). – С. 260-262.

## References

1. Prohorov S.V. Avtomatizaciya i upravlenie tekhnologicheskimi processami v stroitel'stve dlya povysheniya effektivnosti proizvodstva [Automation and control of technological processes in construction to improve production efficiency]. Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya. [Scientific and technical bulletin of the Volga region] 2019. № 9. P. 71-75.
2. Gridneva, YA. A. Perspektivy integrirovannogo primeneniya sovremennyh cifrovyyh tekhnologij pri avtomatizacii resheniya sistemnyh zadach upravleniya v stroitel'stve / YA. A. Gridneva // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2019. – № 12(102). – S. 82-84.
3. Solovyova E., Sekisov A., Gura D., Mikheev G., Kovtunen M. Developing Optimization Modelling Methodology for Production Costs Generation // Helix. 2020. Vol. 10. Issue 2. Pp. 63-71 URL: <http://helixscientific.pub/index.php/Home/article/view/112/112>, <https://doi.org/10.29042/2020-10-2-63-71>.
4. Hocelovskij S.E. Vnedrenie robototekhnicheskikh sistem v stroitel'stve [Mechanization of construction processes Implementation of robotic systems in construction] Innovacionnoe razvitie tekhniki i tekhnologij nazemnogo transporta [Innovative development of land transport equipment and technologies] 2021. P. 226-227.
5. Miheev G.V., YAnovskaya E.D. Robotizirovannaya tekhnika v stroitel'stve [Robotic technology in construction] Elektronnyj setevoy politematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU" [Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubGTU"] 2019. № 2. P. 181-188.
6. Storozhenko, E. N. Avtomatizaciya kontrolya i ucheta v stroitel'stve / E. N. Storozhenko, D. V. Gulyakin // Vestnik sovremennyh issledovaniy. – 2018. – № 12.13(27). – S. 260-262.

УДК 528

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
студент группы 3150801/00001  
Инженерно-строительного института  
И.Р. Попов  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
тел. +7(981) 719-12-99  
e-mail: [popov.ir@edu.spbstu.ru](mailto:popov.ir@edu.spbstu.ru)  
Канд. техн. наук, доцент Высшей школы  
промышленно-гражданского и дорожного  
строительства О.С. Гамаюнова  
Россия, г. Санкт-Петербург,  
тел. +7(921) 965-88-25  
e-mail: [gamayunova\\_os@spbstu.ru](mailto:gamayunova_os@spbstu.ru)*

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic  
University  
student of group 3150801/00001 of the Civil  
Engineering Institute  
I.R. Popov  
Russia, St.Petersburg,  
tel. +7(981) 719-12-99  
e-mail: [popov.ir@edu.spbstu.ru](mailto:popov.ir@edu.spbstu.ru)  
Ph.D., Associate Professor of the Higher  
School of Industrial, Civil and Road  
Construction O.S. Gamayunova  
Russia, St.Petersburg,  
tel. +7(921) 965-88-25  
e-mail: [gamayunova\\_os@spbstu.ru](mailto:gamayunova_os@spbstu.ru)*

И.Р. Попов, О.С. Гамаюнова

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ**

Лазерное сканирование позволяет очень точно построить модель рельефа строительных конструкций и в дальнейшем работать с этими данными как в ходе строительства, так и во время эксплуатации объекта. В статье рассмотрены основные виды и особенности лазерных сканеров, описано применение лазерного сканирования на разных этапах строительства, приведены примеры использования лазерного сканирования для мониторинга большепролетных сооружений и памятников архитектуры. Показано, что, несмотря на некоторые недостатки и дороговизну, технологии лазерного сканирования позволяют решить многие проблемы, связанные с обследованием существующих зданий.

**Ключевые слова:** лазерное сканирование, обследование зданий, облако точек, цифровая модель, мониторинг, моделирование, геодезия, геодезические измерения.

I.R. Popov, O.S. Gamayunova

## **THE USE OF LASER SCANNING IN THE SURVEY OF UNIQUE BUILDINGS**

Laser scanning allows you to very accurately build a relief model of building structures and then work with these data both during construction and during operation of the facility. The article discusses the main types and features of laser scanners, describes the use of laser scanning at different stages of construction, provides examples of the use of laser scanning for monitoring large-span structures and architectural monuments. It is shown that, despite some shortcomings and high cost, laser scanning technologies can solve many problems associated with the inspection of existing buildings.

**Keywords:** laser scanning, building survey, point cloud, digital model, monitoring, modeling, geodesy, geodetic measurements.

Существуют различные способы обследования зданий и сооружений, направленные на уточнение геометрических параметров объекта, его прочности, способности сопротивляться различным нагрузкам [1-7].

Все методы технического обследования можно разделить на две группы: разрушающие и неразрушающие. Разрушающие проводятся в лабораториях и предполагают взятие проб элементов строения, дробление и последующее исследование их свойств. Неразрушающие проводятся непосредственно вблизи объекта с использованием, как правило, специального оборудования. Основные методы обследования зданий и сооружений:

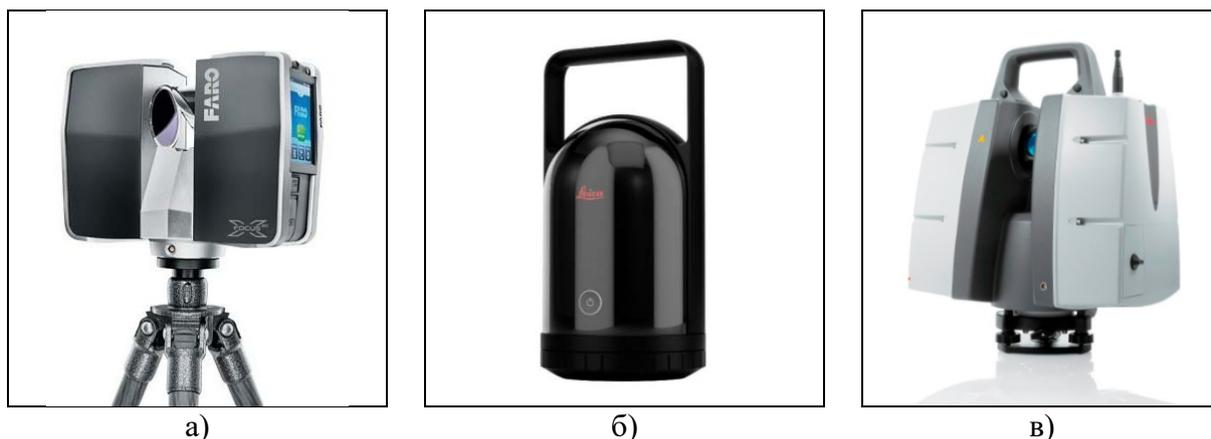
1. Визуальный - проводится поиск дефектов невооруженным глазом
2. Ультразвуковой - проверяется прочность конструкций, наличие в них трещин, пустот
3. Электромагнитный - применяется при обследовании скрытых повреждений фундаментов и поиска неоднородностей пространства под землей
4. Радиометрический - позволяет исследовать состояние материалов конструкций с радиологической точки зрения
5. Нейтронный - применяется для определения свойств бетона и определения количества влаги
6. Электрооптический - позволяет изучить вибрационные параметры объекта
7. Способ отрыва с изгибом и применение метода сжатия - выполняется в лабораторных условиях. целью является изучение прочности материала конструкции
8. Пластической деформации - позволяет установить прочность и упругость материалов
9. Пневматический - позволяет определить воздухопроницаемость здания
10. Гидравлический - позволяет выяснить, насколько здание или сооружение стойко к воздействию влаги
11. Акустический - применяется для определения уровня шумоизоляции в помещениях
12. Тепловизионный - с помощью тепловизора определяется степень тепловой защиты здания, контролируется работа систем тепло- и водоснабжения, устанавливаются участки перегрева электросети
13. Геодезический - позволяет определить деформации и осадку здания или сооружения
14. Способ лазерного сканирования - применяется для подробного изучения рельефа поверхностей зданий и сооружений.

Таким образом, существует много различных методов обследования зданий и сооружений, позволяющих вести контроль за состоянием конструкций, вовремя принимать решения по проведению ремонтных работ.

### **Виды и особенности лазерных сканеров**

Лазерный сканер способен проводить до миллиона измерений за одну секунду. Облако точек, которое получается в результате его работы, можно затем вывести на экран в виде двухмерного или трехмерного изображения [8, 9]. Главными характеристиками прибора являются показатели точности, дальности, скорости сбора данных, а также угол обзора. Выбор в пользу того или иного сканера зависит от технологических требований изучаемого объекта. На сегодняшний день доступны следующие варианты [10]:

1. *Сканеры среднего радиуса действия.* Дальность до 100 м, допустима погрешность в несколько миллиметров.
  2. *Сканеры дальнего действия.* В работе допускают погрешность от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров, работают с дальностью в сотни метров.
  3. *Маркшейдерские сканеры.* Дальность – более километра, погрешность – до дециметра.
- Примеры лазерных сканеров представлены на рис.1.



**Рис. 1.** Лазерные сканеры:

а – лазерный сканер Focus<sup>3D</sup> X 130, б – лазерный сканер Leica BLK360, в – лазерный сканер Leica ScanStation P50 [11]

### **Основные виды и сфера применения лазерного сканирования**

Лазерное сканирование объектов – это новейший метод построения 2D- и 3D-моделей окружающего пространства. В процессе работы приборов создается облако точек с пространственными координатами, которые в итоге дают объемное изображение. Полученная модель объекта может содержать от нескольких тысяч до нескольких миллионов координатных точек. При этом измерения проходят с точностью до миллиметра [10, 12].

Принцип работы лазерного сканера можно сравнить с работой любого радара. Он заключается в излучении лазерного луча, который обладает высокой частотой, и отражении его на колеблющемся зеркале. Так, луч достигает объекта, а затем вновь возвращается в отправную точку. В этот момент прибор фиксирует время возврата, согласно которому получает данные о расстоянии, на котором находится объект. Так создается облако точек. При этом стоит отметить, что прибор может отправить сразу множество лучей, то есть мгновенно получить информацию сразу о значительной части объекта.

В зависимости от сложности объекта, его величины и технических особенностей, могут использоваться следующие виды лазерной съемки [10]:

1. *Наземное лазерное сканирование.* Оно производится с помощью статичного прибора. Визуализация объекта происходит путем наведения визира, или путем предварительного сканирования при небольшой плотности координатных точек. Затем проходит более детальное моделирование каждой отдельной поверхности и сбор всех полученных данных в единый массив. Для проведения этого типа работ не требуется установка дополнительных отражателей, меток или маркеров.

2. *Мобильное сканирование.* Съемка проходит с помощью тех же приборов, но здесь они закреплены на транспортное средство, которое движется по установленному маршруту для сбора необходимых данных. Сами приборы обладают встроенными компенсаторами наклонов и вибраций, а также очень жестко крепятся к основанию. Все это позволяет избежать каких-либо неточностей, которые могли бы возникнуть за счет осуществления съемки в движении.

3. *Сканирование с воздуха.* Такой тип работ считается наиболее быстрым и детальным. Он позволяет получить картинку местности с учетом всех особенностей рельефа.

### **Применение лазерного сканирования на разных этапах строительства объекта**

Лазерное сканирование применяется на всех этапах эксплуатации здания: начиная с проектировки, заканчивая демонтажем.

На самом первом этапе – перед проектированием сооружения – с помощью лазерного сканирования получают цифровую модель местности и цифровую модель рельефа. В дальнейшем эти данные используются для планировки земельных работ и организации инфра-

структуры строительной площадки. Затем, после окончания установки свай, фиксируется их точное пространственное положение и глубину закапывания. После окончания монтажа ростверков и бетонных подушек контролируется правильность их установки и состояние.

Самый трудоемкий этап – возведение несущих конструкций: металлоконструкций, стен, колонн, а также перекрытий, фасадов и кровли. Лазерное сканирование на этом этапе применяется для контроля точности установки элементов, их геометрии, наличия производственных или строительных дефектов, проектных несоответствий. Этот процесс позволяет диагностировать проблемы на ранних этапах их развития и вовремя их решить. После выявления всех ошибок и дефектов выполняется финальная на этапе строительства лазерная съемка объекта в готовом состоянии с целью зафиксировать финальную его версию и убедиться в отсутствии неполадок.

После ввода здания в эксплуатацию, как правило, выполняется еще одна съемка элементов, воспринимающих на себя большие нагрузки (несущие конструкции, различные трубопроводы с большим давлением). В дальнейшем, в период эксплуатации, периодически проводится сканирование здания и сравнение полученных данных с более ранними моделями.

Если планируется снос объекта, обычно выполняется лазерное сканирование хотя бы основных элементов объекта. Создается проект, в котором необходимо учесть все риски, спланировать, как будет проходить снос, оценить общее состояние объекта.

Важно отметить, что необходимым условием для выполнения лазерного сканирования здания на различных этапах его строительства и эксплуатации является обеспечение сохранности системы реперов, к которым привязана его система координат.

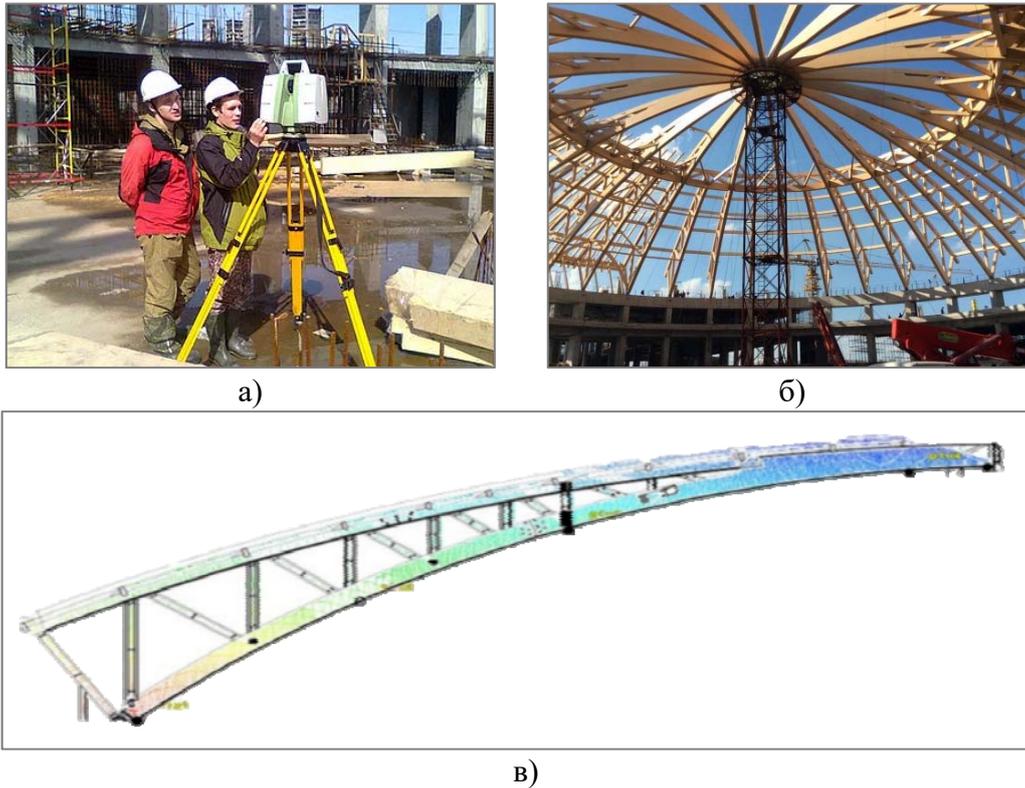
### **Применение лазерного сканирования для мониторинга большепролетных сооружений**

В последние десятилетия возводятся все больше высотных зданий, крупных зданий с большепролетными конструкциями и уникальных сооружений, к которым относят построенные в различных городах нашей страны ледовые дворцы, арены, стадионы и другие объекты. Строительство и эксплуатация таких объектов всегда сопровождаются определением технического состояния конструкций зданий и сооружений, поскольку в большинстве случаев причиной их разрушений является изначально присутствующие или образовавшиеся вследствие действия различных факторов дефекты строительства.

В эксплуатируемых уникальных сооружениях довольно сложно получить доступ к большей части несущих конструкций, а работы по традиционному обследованию технического состояния конструкций трудоемки и дороги. Поэтому для мониторинга состояния зданий и сооружений целесообразно использовать наземное лазерное сканирование.

В качестве примера применения лазерного сканирования конструкций можно привести обследование крытого аквапарка в Новосибирске на этапе строительства (рис. 2), где выполнялся геодезический мониторинг железобетонных колонн, плит оснований сооружений и деревоклееных конструкций балок купола перекрытия.

Основным видом геодезических работ при проведении геодезического мониторинга при строительстве аквапарка являлось наблюдение за осадками и деформациями фундаментов, а также деревоклееных балок аквапарка.



**Рис. 2.** Использование лазерного сканирования купола крытого аквапарка в Новосибирске:  
 а – сканирование деревянных балок купола, б – купол аквапарка,  
 в – облако точек балки купола аквапарка [13]

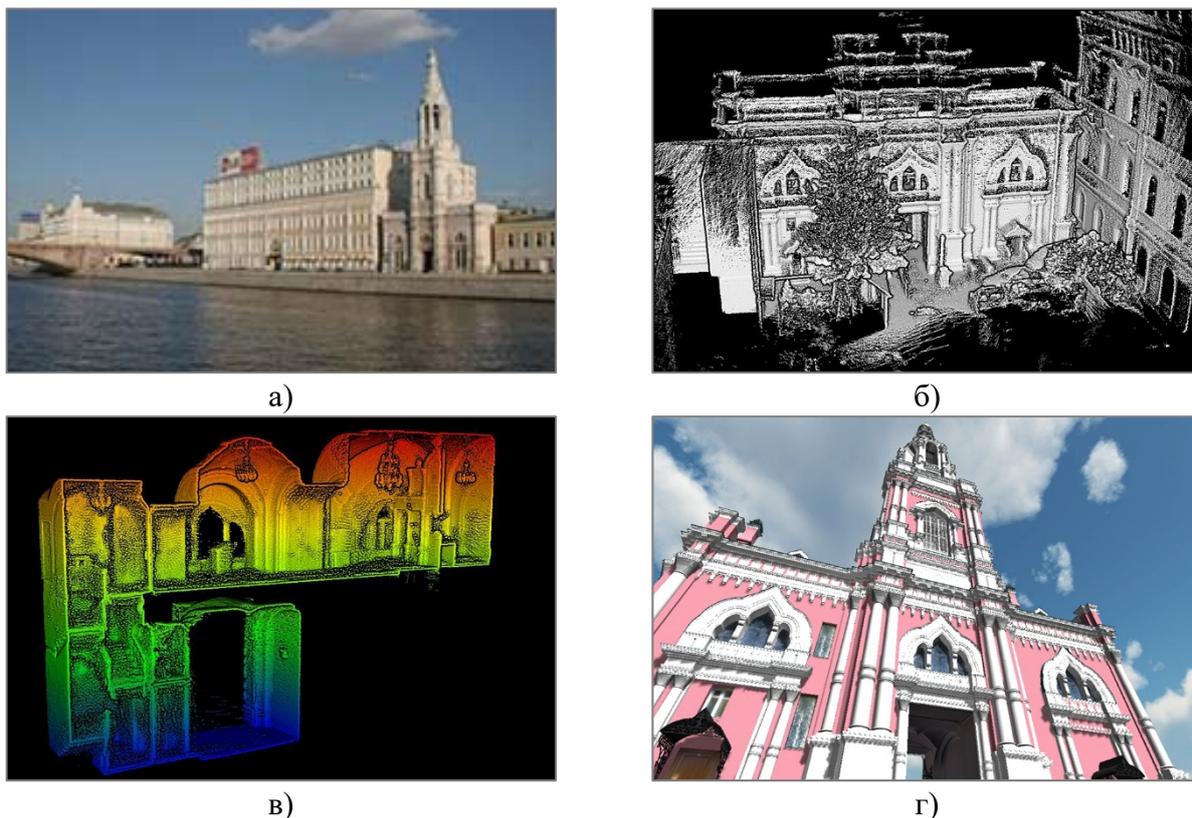
Для того, чтобы получить виртуальную 3D-модель купола аквапарка, использовались лазерные сканеры, поставленные в разные части объекта таким образом, что их области сканирования пересекались в местах с наибольшей плотностью точек. Промышленные альпинисты установили световозвращающие марки на деревянные балки. Такая конструкция позволяет добиться второго класса точности. В результате были получены данные от всех элементов конструкции. Полученные облака точек загружались в специальные программы, после чего часть точек, не относящихся к элементам купола, вручную удалялась. Затем, после демонтажа центральной монтажной вышки и начала установки кровли, данная операция была проведена вновь с целью определения деформаций несущих конструкций путем сравнения координат точек.

В последующем при эксплуатации аквапарка проводились лазерные сканирования элементов несущих конструкций с целью выявления их деформаций. Метод лазерного сканирования позволил вычислить средние деформации довольно точно: они оказались равны всего 4,5 мм.

### **Реставрация памятников архитектуры с использованием лазерного сканирования**

Лазерное сканирование памятников архитектуры позволяет составить точную 3D-модель не рискуя повредить элементы постройки. Данный вид геодезических изысканий наиболее востребован в ходе реставрационных работ [14].

В качестве примера можно привести использование лазерного сканирования при реставрации Храма Софии Премудрости Божией на острове Балчуг, напротив Московского Кремля (рис. 3).



**Рис. 3.** Использование лазерного сканера GEOSLAM ZEB1 при реставрации [15]:

а – Храм Софии Премудрости Божией (г. Москва), б – результаты измерений внешнего фасада здания, в – результаты измерений внутренних помещений храма, г – трехмерная модель по данным лазерного сканирования

В рамках выполнения этого проекта с использованием сканера ZEB1 была поставлена задача выполнить съемку, как наружных фасадов здания, так и внутренних помещений, включая винтовые лестницы и переходы колокольни, помещения храма и алтарь. Учитывая сложную конструкцию здания, множество проходов, арок, узких винтовых лестниц и большой объем данных не было возможным сделать за одну съемку объекта и было принято решение разбить объект съемки на 4 части. Объем данных всех 4-х частей составил 71 млн. точек. Съемка проводилась одним исполнителем и по времени заняла не более 15-20 минут на каждую часть с учетом сложности помещений.

Наземное лазерное сканирование при реставрации памятников архитектуры и объектов историко-культурного наследия безусловно стало востребованной и эффективной технологией получения детальных планов, разрезов, сечений зданий за счет высокой автоматизации, скорости, точности и детальности съемки. Готовая 3D-модель здания по данным лазерного сканирования может использоваться на любом этапе жизненного цикла инженерного сооружения с использованием BIM-технологий [16-18].

### **Преимущества метода лазерного сканирования**

Лазерное сканирование – это выгодная экономия материальных и временных затрат. Оно позволяет в кратчайшие сроки получить максимальное количество данных, а затем создать детальную 3D-модель объекта. Это дает возможность хранить в электронном виде подробную информацию о любом объекте, будь то архитектурный памятник, жилой комплекс, промышленное здание, рельеф территории и пр. При этом она может быть в дальнейшем использована в различных компьютерных программах для планирования реконструкций, ремонтных и строительных работ. Современные приборы создают системы данных, которые совместимы с Autodesk, AVEVA, AutoCAD, Intergraph и прочими средствами проектирования мировых производителей.

Также к преимуществам лазерного сканирования стоит отнести следующие его особенности:

1. *Высокая точность.* Погрешность приборов находится на минимальном уровне. Кроме того, сканеры можно настроить на фиксацию первого или последнего отражения. Например, это позволит различить грунт и растительность и пр.

2. *Полнота информации.* Лазерные сканеры создают облака из миллионов точек с пространственными координатами. Это значит, что даже самые мелкие детали объекта будут учтены в цифровой модели.

3. *Мгновенная визуализация.* Современные приборы работают таким образом, что вы сразу же получите все результаты в 3D-виде. Соответственно, не придется тратить дополнительное время на обработку данных и привлекать для этого специалистов.

4. *Безопасность.* Когда речь идет о съемке опасных или труднодоступных объектов, лазерное сканирование является наиболее оптимальным вариантом. Дальность работы приборов и угол их обзора позволят получить точные данные с безопасного расстояния.

5. *Автоматизация.* Правильная настройка оборудования позволит совершать все необходимые измерения простым нажатием кнопки, что исключает практически все внешние влияния на результат инженерно-геодезических работ.

### **Недостатки технологии лазерного сканирования**

На данный момент можно отметить следующие недостатки лазерного сканирования:

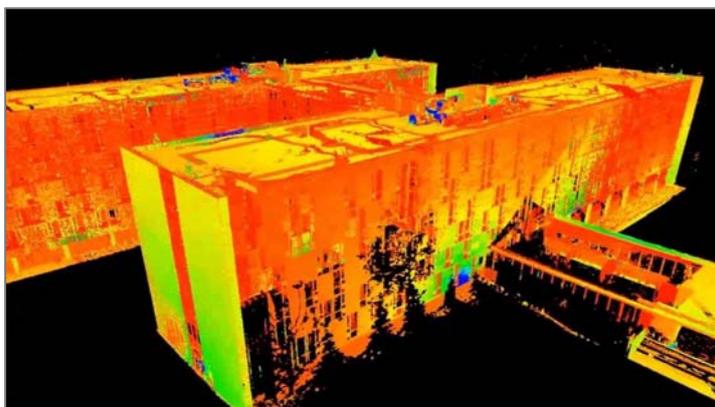
1. Большинство современных моделей сканеров не предназначены для работы при минусовой температуре.

2. При лазерном сканировании сложных архитектурных форм возникают определенные трудности с автоматическим переносом данных в программы компьютерного моделирования.

3. Сканер может производить измерения только тех объектов, с которыми у него есть прямая видимость. В таких случаях информацию об объекте приходится дополнять данными, полученными с других устройств или искать альтернативные способы съемки труднодоступных объектов.

4. Невозможно получить облако точек от стеклянных конструкций и абсолютно ровных поверхностей (рис.4). Попадая на стеклянные конструкции, часть излучения проходит сквозь них, а часть отражается под таким же углом, под каким луч упал на поверхность (как и в случае с абсолютно гладкими поверхностями).

5. Лазерное сканирование здания – это очень дорого (средняя минимальная стоимость сканирование одного объекта – 200 тыс. руб.)



**Рис. 4.** Отсутствие информации от сканирования (черным цветом показаны места, откуда совсем не удалось получить точки, синим – откуда удалось получить очень мало точек)

## Выводы

При всем многообразии методов обследования уникальных зданий и сооружений лазерное сканирование является очень важной и зачастую незаменимой технологией. Хотя данный метод появился не так давно, он уже получил признание во всем мире и считается неотъемлемой частью при строительстве любого уникального здания или сооружения. Современные технологии, применяемые в лазерных сканерах, сильно упростили измерительные работы на строительных площадках, позволили сократить общее время строительства, затрат рабочих и финансовых ресурсов. Данный метод активно используется в строительстве и мониторинге состояния зданий и сооружений во всем мире и уже доказал свою точность и удобность.

Однако технология лазерного сканирования имеет ряд недостатков. Для некоторых уже найдены альтернативные решения, которые предполагают дополнительные финансовые затраты или привлечение сторонней техники. Для некоторых проблем (таких как сбой в работе при сильных морозах, получение неточных показаний при сильном ветре или выпадении осадков) решения до сих пор не найдены. Но прогресс не стоит на месте, поэтому полное решение вышеописанных проблем является лишь вопросом времени.

Данная технология сильно упрощает работу строителей, геодезистов, археологов, реставраторов и представителей многих других профессий. Лазерное сканирование позволяет с высокой точностью получить информацию о свойствах, рельефе, положении труднодоступных объектов. Однако все же присутствует ряд трудностей и проблем, связанных с этой системой. Но, учитывая рост развития современных технологий и исследований в строительстве и смежных областях, можно с большой уверенностью утверждать, что уже в скором будущем лазерное сканирование зданий выйдет на еще более высокий уровень.

## Библиографический список

1. Степанова О.С. Макаров Г.В. Методика геодезических наблюдений за деформациями морского Никольского собора в Кронштадте // Записки Горного института. 2013. Т. 204. С. 52-57.
2. Использование современного оборудования для проведения геодезических съемок и наблюдений за деформациями / Е. Б. Михаленко, Н. Д. Беляев, А. А. Кузин [и др.]. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2018. 122 с.
3. Царева О.С., Гуменный А.В. Определение абсолютных деформаций зданий по изменениям расстояний между опорными пунктами и деформационными марками // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. Т. 63. № 5. С. 496-502. – DOI 10.30533/0536-101X-2019-63-5-496-502
4. Tsareva O., Olekhovich Y., Razumnova E. Method of Evaluation of Historical Objects of Transport Infrastructure Deformations // Advances in Intelligent Systems and Computing (см. в книгах). 2020. Vol. 1116 AISC. P. 387-404. DOI 10.1007/978-3-030-37919-3\_38
5. Корнев В. В., Орлова Н. С., Улыбин А. В., Федотов С. Д. Строительный контроль зданий и сооружений с применением мультикоптеров и фотограмметрии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 2(65). С. 40-58. DOI 10.18720/CUBS.65.3
6. Степанова О. С. Анализ способов геодезических наблюдений за деформациями применительно к объектам культурного наследия // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 4. С. 418-422.
7. Корнилов Ю.Н. Царева О.С. Совершенствование методики наблюдений за деформациями зданий и сооружений // Геодезия и картография. 2020. Т. 81. № 4. С. 9-18. DOI 10.22389/0016-7126-2020-958-4-9-18

8. Табаченко А.А., Олехнович Я.А. Обработка плотного облака точек при геоинформационном моделировании зданий и сооружений промышленного и гражданского строительства // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 67-70.

9. Остапова А.В., Кашин Г.И., Олехнович Я.А. Анализ возможности использования облака точек при нивелировании по квадратам // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 89-91.

10. Лазерное сканирование зданий и сооружений: все, что нужно знать заказчику [Электронный ресурс]. – URL: <https://gektargroup.ru/articles/geodeziya/lazernoe-skanirovanie-zdaniy-i-sooruzheniy/> (дата обращения: 10.05.2021).

11. Кубарта. Лазерное сканирование & BIM [Электронный ресурс]. – URL: <https://kubarta.ru/laserscan/ls-zdaniy/> (дата обращения: 10.05.2021).

12. Храмлиук А.К., Романова Т.А., Акопян Г.Т. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2019. № 2. С. 327-330.

13. Шоломицкий А.А., Лагутина Е.К., Соболева Е.Л. Применение лазерного сканирования для мониторинга большепролетных сооружений // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2018. Т. 23. № 2. С. 43-57.

14. Баденко В., Зотов К., Зотов Д., Гарг Р.Д., Жан Л., Болсуновская М., Федотов А. Обзор технологии лазерного сканирования для исторического информационного моделирования зданий и сооружений в Санкт-Петербурге, Россия // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 1(52). С. 93–101.

15. Реставрация памятников архитектуры с технологией лазерного сканирования [Электронный ресурс]. – URL: <https://art-geo.ru/solution/lazernoe-skanirovanie-v-arkhitecture-khram-sofiya> (дата обращения: 10.05.2021).

16. Лаборов В.А., Гамаюнова О.С. Робототехника и BIM-технологии в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 5 (5). С. 15-22. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/15-22.pdf>

17. Жарков Д.И. Перспективы развития BIM-технологий // Инженерные исследования. 2021. № 2 (2). С. 9-15. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/2/9-15.pdf>

18. Дорошенко А., Гамаюнова О. "Дроны" - новая система контроля за строительством // Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2021. № 10. С. 58-65.

#### References

1. Stepanova O.S., Makarov G.V. Methods of geodetic observations of deformations of the St. Nicholas Cathedral in Kronstadt // Notes of the Mining Institute. 2013. Vol. 204. Pp. 52-57.

2. The use of modern equipment for geodetic surveys and observations of deformations / E. B. Mikhalenko, N. D. Belyaev, A. A. Kuzin [et al.]. - St. Petersburg: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University", 2018. 122 p.

3. Tsareva O.S., Gumennyi A.V. Determination of absolute deformations of buildings by changes in distances between support points and deformation marks // Izvestia of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography. 2019. Vol. 63. No. 5. Pp. 496-502 – DOI 10.30533/0536-101X-2019-63-5-496-502

4. Tsareva O., Olekhnovich Y., Razumnova E. Method of Evaluation of Historical Objects of Transport Infrastructure Deformations // Advances in Intelligent Systems and Computing (see in books). 2020. Vol. 1116 AISC. P. 387-404. DOI 10.1007/978-3-030-37919-3\_38

5. Korenev V. V., Orlova N. S., Ulybin A.V., Fedotov S. D. Construction control of buildings and structures using multicopters and photogrammetry // Construction of unique buildings and structures. 2018. No. 2(65). Pp. 40-58. DOI 10.18720/CUBS.65.3
6. Stepanova O. S. Analysis of methods of geodetic observations of deformations in relation to objects of cultural heritage // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2014. No. 4. Pp. 418-422.
7. Kornilov Yu.N., Tsareva O.S. Improvement of methods of observation of deformations of buildings and structures // Geodesy and cartography. 2020. Vol. 81. No. 4. Pp. 9-18. DOI 10.22389/0016-7126-2020-958-4-9-18.
8. Tabachenko A.A., Olekhovich Ya.A. Processing of dense point cloud in geoinformation modeling of buildings and structures of industrial and civil construction // In: ISI Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Civil Engineering Institute of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021. Pp. 67-70.
9. Ostapova A.V., Kashin G.I., Olekhovich Ya.A. Analysis of the possibility of using a point cloud when leveling by squares // In: ISI Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Civil Engineering Institute of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021. Pp. 89-91.
10. Laser scanning of buildings and structures: everything the customer needs to know [Electronic resource]. - URL: <https://gektargroup.ru/articles/geodeziya/lazernoe-skanirovanie-zdaniy-i-sooruzheniy/> (accessed: 10.05.2021).
11. Cubata. Laser Scanning & BIM [Electronic resource]. - URL: <https://kubarta.ru/laserscan/lz-zdaniy/> (accessed: 10.05.2021).
12. Khramlyuk A.K., Romanova T.A., Hakobyan G.T. Possibilities, advantages and disadvantages of ground-based laser scanning // Nauka. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). 2019. No. 2. Pp. 327-330.
13. Sholomitsky A.A., Lagutina E.K., Soboleva E.L. Application of laser scanning for monitoring of large-span structures // Bulletin of SSUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies). 2018. Vol. 23. No. 2. Pp. 43-57.
14. Badenko V., Zotov K., Zotov D., Garg R.D., Jean L., Bolsunovskaya M., Fedotov A. Overview of laser scanning technology for historical information modeling of buildings and structures in St. Petersburg, Russia // Construction of unique buildings and structures. 2017. No. 1(52). Pp. 93-101.
15. Restoration of architectural monuments with laser scanning technology [Electronic resource]. - URL: <https://art-geo.ru/solution/lazernoe-skanirovanie-v-arkhitekture-khram-sofiya> (accessed: 10.05.2021).
16. Laborov V.A., Gamayunova O.S. Robotics and BIM technologies in construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 5(5). Pp. 15-22. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/15-22.pdf>
17. Zharkov D.I. Prospects for development of BIM technologies // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 2 (2). Pp. 9-15. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/2/9-15.pdf>
18. Doroshenko A., Gamayunova O. «Drones» are a new construction control system // Construction: new technologies - new equipment. 2021. No. 10. Pp. 58-65.