

# ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Научно-технический журнал

№1 2020



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); д-р техн. наук, проф. С.И. Сушков (г. Воронеж, ВГЛТУ); 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

© Воронежский  
государственный  
технический  
университет, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

### УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

<b>Голиков Д.Д., Калаев Р.Э., Кошелева А.Е., Маркелова Н.Л.</b> Исследование пассажиропотока Московского проспекта г. Ярославля .....	7
<b>Еремин А.В., Волокитина О.А., Волокитин В.П.</b> Управление состоянием мостовых сооружений в рамках реализации национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» .....	12
<b>Спасибухов Ю.Н., Щиенко А.Н.</b> Формирование оптимальных комплектов машин для строительства и ремонта автомобильных дорог .....	18

### ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Ахрименко С.В., Семенова Э.Е.</b> Анализ теплоизоляционных материалов, применяемых для повышения энергоэффективности строительства на примере ограждающей конструкции – крыши .....	22
<b>Войтенок И.А., Свиридова А.А.</b> Роль энергосберегающих решений в формировании «Доступного жилья» .....	27
<b>Кузнецов Г.А., Зяблов С.Ф., Минин В.В.</b> Энерго- ресурсоэффективные малогабаритные гравитационные бетоносмесители .....	32
<b>Чудинов Д.М., Петрикеева Н.А., Попова Н.М., Зверков А.П.</b> Анализ поступления солнечной радиации при проектировании альтернативных энергетических систем в условиях Воронежской области .....	36

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

<b>Соловьева О.Ю., Игнатьева М.С., Гаврилов М.А., Индейкин Е.А., Ветошкин А.Б., Гудков С.В.</b> Снижение содержания оксида цинка в резиновых смесях .....	41
<b>Тарасенко О.А., Маркова Л.С., Турченко А.Е.</b> Анализ стеновых облицовочных материалов для общественных зданий по критериям ресурсоэффективности .....	46
<b>Чудайкин А.Д., Строкин А.С.</b> Пористые асфальтобетонные смеси с улучшенными технологическими свойствами .....	50

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

<b>Волокитина А.В., Волков И.Н.</b> Комплексное применение доменного шлака в конструктивных слоях дорожной одежды .....	56
<b>Кварацхелия Е.Г., Волокитина А.В.</b> Инновационные технологии для повышения качества устройства автомобильных дорог .....	60

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

<b>Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Никитин С.А., Колбешкина А.А., Голубцов Д.А., Андреещев А.В.</b> Экспериментальные исследования методов снижения шума в кабинах транспортно-технологических машин .....	65
<b>Герашенко В.Н., Князев С.Б.</b> Исследование и обобщение результатов по ходовому оборудованию гидравлических экскаваторов 5-ой размерной группы .....	70
<b>Герашенко В.Н., Кобенков И.А.</b> Исследования ходового механизма с целью модернизации натяжного устройства гидравлического экскаватора 5-ой размерной группы....	73
<b>Демидов А.В., Махжуб У., Попова О.И., Попова М.И.</b> Математическое моделирование процесса фрезерования червячных колес .....	76
<b>Демидов А.В., Махжуб У., Попова О.И., Попова М.И.</b> Пути повышения точности механической обработки червячных колес .....	82
<b>Дильдин В.А., Зорин В.А., Косенко Е.А.</b> Четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания с кривошипно-рычажным механизмом .....	88
<b>Жилин Р.А., Калинин Ю.И., Корчагин А.С.</b> Моделирование ходового оборудования шагающих экскаваторов.....	94
<b>Жилин Р.А., Корчагин А.С., Дяченко Е.В., Бородкин А.С.</b> Моделирование шестизвенных шарнирно-рычажных механизмов .....	98
<b>Жулай В.А., Тюнин В.Л., Жидких Н.С., Герасимов А.А.</b> Применение сдвоенных колёс на наземных транспортно-технологических машинах.....	103
<b>Никитин С.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Замотин Р.О., Соколов М.А., Соколов А.Ю., Трунов А.В.</b> Анализ вибровозмущающих сил дорожной машины.....	109
<b>Нилов В.А., Федоров Е.В., Мирошников К.А.</b> Исследование вертикального взаимодействия прицепного устройства скрепера тягача .....	115
<b>Серов А.А., Фолчанов А.Н., Нахаев А.М.</b> Применение гидромолотов в строительном производстве .....	119
<b>Тарасов Е.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Никитин С.А., Щиенко А.Н., Каплин И.О., Краснолуцкий Д.А.</b> Последовательность действий эксперта при производстве судебной автотехнической экспертизы по исследованию причины разрушения муфты блокировки дифференциала автомобиля КамАЗ.....	123
<b>Тургунбаев М.С.</b> К вопросу закона распределения минеральных частиц грунта .....	134
<b>Тургунбаев М.С.</b> Оценка сопротивления усталости локальных участков конструкции ковша экскаватора ЭО-2621 с использованием конечно-элементного анализа .....	141
<b>Устинов Ю.Ф., Ульянов А.В., Тихонов Р.С.</b> Виброакустическая динамика транспортно-технологических машин .....	151
<b>Фёдоров В.К.</b> Теоретическое обоснование преимущественности технического обслуживания и ремонта строительно-дорожных машин по состоянию.....	156

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

<b>Волокитина О.А., Еремин А.В., Волокитин В.П.</b> Увеличение срока службы покрытий железобетонных мостов за счет учета факторов, влияющих на их работу.....	161
---	-----

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

<b>Никитина Е.Л., Раздувалова М.Н.</b> Исследование технологий очистки медьсодержащих сточных вод.....	168
<b>Николенко С.Д., Щинекко А.Н.</b> Применение дисперсно-армированных бетонов в зонах возможных землетрясений .....	171
<b>Ростамиан Мохаммад, Зорин В.А.</b> Снижение рисков при производстве и ремонте автомобилей в условиях Ирана .....	180

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

<b>Андреев А.В.</b> Применение шлаковых асфальтобетонных покрытий в условиях Липецкой области при эксплуатации автомобильных дорог общего пользования в зимний период .....	185
<b>Жилин Р.А., Стрункин П.В.</b> Аддитивные технологии с применением плазменного напыления .....	190
<b>Калаев Р.Э., Макаров В.М., Калаева С.З., Маркелова Н.Л.</b> Получение магнетита из металлургической пыли и осадка станций обезжелезивания воды.....	193
<b>Лобова Е.А., Ильин О.Ю., Ляхнович А.Г., Чебуланкин Д.Е.</b> Влияние температурного графика тепловой сети на материальную характеристику .....	198
<b>Пегачков А.А., Кузовков И.М.</b> Удаленная диагностика тепловых параметров двигателя внутреннего сгорания .....	204
<b>Тарасов Е.А.</b> Последовательность действий эксперта при производстве экспертизы по исследованию лакокрасочного покрытия кузова автомобиля .....	211

# УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК 614.76

*Ярославский государственный  
технический университет  
Студент 3 курса Д.Д.Голиков  
Студент 3 курса Р.Э.Калаев  
Студент 3 курса А.Е.Кошелева  
Канд. техн. наук, доцент кафедры «Охрана  
труда и природы» Н.Л. Маркелова  
Россия, г. Ярославль, тел. +7(4852) 44-68-13  
e-mail: [ngurileva@yandex.ru](mailto:ngurileva@yandex.ru)*

*Yaroslavl State Technical University  
3rd year student D. D.Golikov  
3rd year student R. E.Kalachev  
3rd year student A. E. Kosheleva  
Cand. tech. associate Professor of the De-  
partment of labor and nature Protection  
N.L. Markelova  
Yaroslavl, Russia, tel. +7 (4852) 44-68-13  
e-mail: [ngurileva@yandex.ru](mailto:ngurileva@yandex.ru)*

Д.Д. Голиков, Р.Э. Калаев, А.Е. Кошелева, Н.Л. Маркелова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССАЖИРОПОТОКА МОСКОВСКОГО ПРОСПЕКТА Г. ЯРОСЛАВЛЯ

В статье приводится исследование пассажиропотока одной из главных транспортных артерий г. Ярославля - Московского проспекта. Исследование проводили в летний период 2019 года утром, днем и вечером на наиболее востребованных маршрутах. По результатам проведенного исследования определена загруженность маршрутов в будние и выходные дни, рассчитаны концентрации вредных веществ, выбрасываемые автотранспортом.

**Ключевые слова:** автотранспорт, пассажиропоток, загрязнение воздуха.

D.D. Golikov, R.E. Kalachev, A.E. Kosheleva, N.L. Markelova

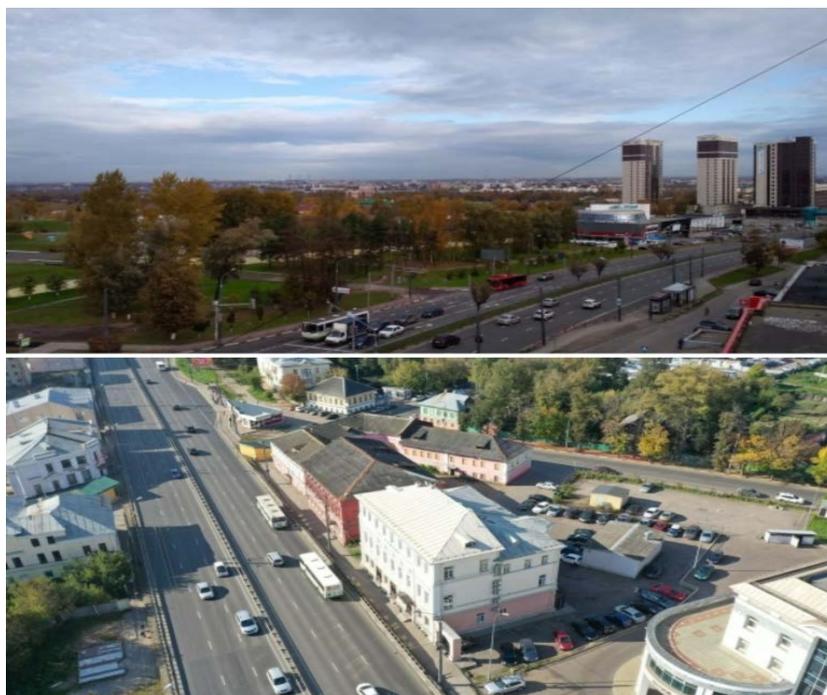
## RESEARCH OF PASSENGER TRAFFIC ON YAROSLAVL'S MOSKOVSKY PROSPEKT

The article presents a study of one of the main traffic arteries of Yaroslavl - Moskovsky Prospekt. The study was conducted in the summer of 2019 in the morning, afternoon and evening on the most popular routes. According to the results of the study, the traffic congestion on weekdays and weekends was determined, and the concentrations of harmful substances emitted by vehicles were calculated.

**Keywords:** motor transport, passenger traffic, air pollution.

В больших городах уровень загруженности улиц транспортом очень высок. Известно, что автотранспорт является одним из главных загрязнителей воздуха. Причинами загрязнения атмосферы автотранспортом являются плохое состояние технического обслуживания автомобилей, неразвитость системы управления транспортными потоками, низкое качество топлива и низкий процент использования экологичных видов транспорта. Выхлопные газы транспорта отрицательно воздействуют на здоровье человека. Они провоцируют головную боль, повышают риск развития рака и заболеваний сердечно-сосудистой системы [1].

Московский проспект города Ярославля – одна из главных транспортных артерий города. Первое название улицы - Московская дорога. Получено оно благодаря тому, что улица проложена в направлении к столице нашей страны – Москве, а первые упоминания о ней датировано 16 веком. В 1967 году улица получила новое название – Московский проспект. Московский проспект находится между мостом через реку Которосль и Костромским шоссе и является частью дороги М8 «Холмогоры» (рисунок 1). Это граница между Фрунзенским и Красноперекопским районами. Протяженность Московского проспекта - 6,5 км.



**Рис. 1.** Виды Московского проспекта г. Ярославля

По Московскому проспекту курсирует большое количество как личного, так и общественного транспорта. Общественный транспорт представлен:

- Троллейбусные маршруты – 5, 9;
- Автобусные маршруты – 2, 4, 4а, 8, 13, 16, 19, 19к, 33, 41, 41а, 41б, 42, 72, 76;
- Маршрутное такси – 36, 37, 45, 46, 47, 61, 71, 72, 73, 80, 81, 82, 84, 87, 91, 94, 96, 97, 98, 139а, 178.

На первом этапе нами были исследованы пассажиропотоки Московского проспекта наиболее востребованных маршрутов:

- Маршрут автобуса 41а: п. Куйбышев – ТРК «Ярославский Вернисаж»;
- Маршрут такси 73: ТРК «Ярославский Вернисаж» – ТРК «Глобус»;
- Маршрут автобуса 76: Вокзал «Ярославль Главный» - ТРК «Ярославский Вернисаж».

Исследование пассажиропотока проводили в летний период 2019 года в будние и выходные дни. Для более полной картины пассажиропоток определяли утром, днем и вечером. Результаты исследования представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Установлено, что самая большая загруженность наблюдается в будние дни утром и вечером. Это обусловлено тем, что население города утром едет на работу, а вечером с работы.

В выходной день пассажиропоток на исследуемых маршрутах примерно в 2 раза меньше по сравнению с рабочими днями.

Наиболее загруженным является маршрут автобуса 41а. В будний день он перевозит более 4500 пассажиров в день, а менее загруженный оказался маршрут 76 – 2366 пассажиров в день.

Таблица 1

Результаты определения пассажиропотока Московского проспекта г. Ярославля

Маршрут	День исследования	Пассажиропоток (ср. значение)			Количество маршрутов в день	Количество пассажиров за день (ср. значение)
		Утро	День	Вечер		
41а	Будни	38	29	42	126	4578
	Выходной	28	26	38	89	2730
73	Будни	37	23	35	107	3388
	Выходной	14	35	23	61	1464
76	Будни	21	22	35	91	2366
	Выходной	11	16	24	60	1020

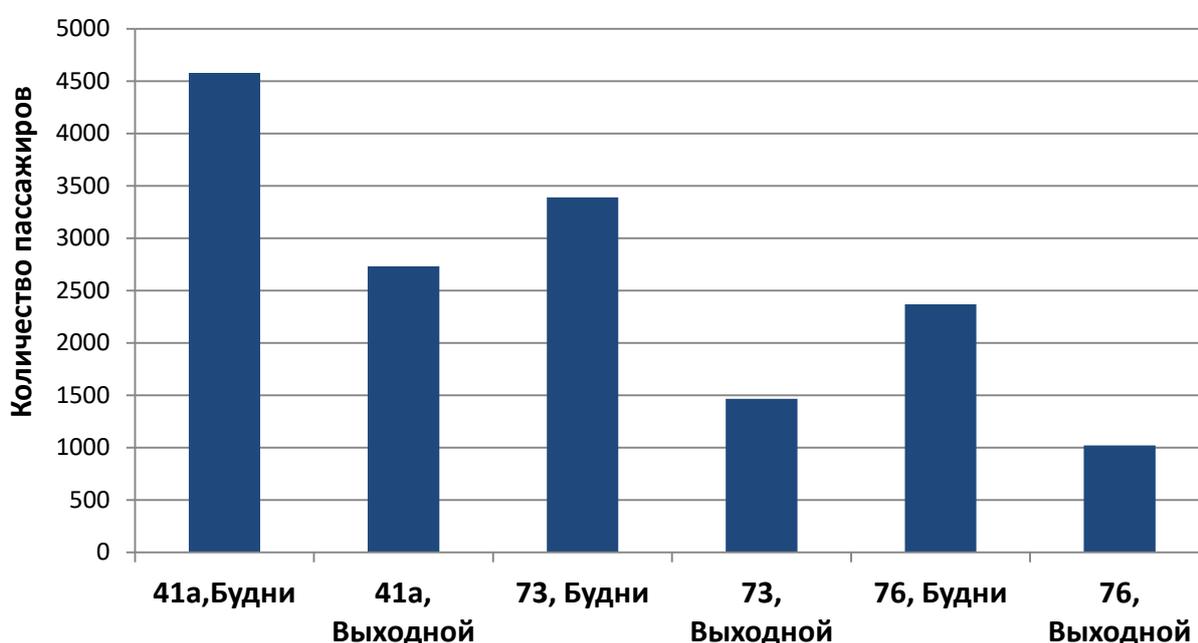


Рис. 2. Определение пассажиропотока

На втором этапе рассчитали выбросы в атмосферу от автотранспорта.

При расчете выбросов автотранспорт подразделяли на следующие категории: легковые, автофургоны и микроавтобусы до 3,5 тонн, грузовые от 3,5 до 12 тонн, грузовые свыше 12 тонн, - автобусы свыше 3,5 тонн [2,3].

Для определения характеристик автотранспортных потоков проводили учет проходящих автотранспортных средств в обоих направлениях с подразделением на группы. Наблюдение проводили три раза в сутки: утром в час «пик», в обед и вечером в час «пик», в будние и выходные дни.

Установлено, что на автомагистрали преобладает легковой транспорт.

Расчет концентрации вредных веществ от выбросов автотранспорта проводился с учетом рассеивания на высоте среднего роста человека 1,6 м.

После выполнения расчетов выброса вредных веществ для различных групп движущегося транспортного потока, соответствующие значения одноименных веществ складывали. Исследования проводились в трех повторностях с расчетом усредненных значений. Полученные данные представлены в таблице 2.

Сводная таблица выбросов вредных веществ

Вещество	Масса выбросов, мг/м <sup>3</sup> Утро		Масса выбросов, мг/м <sup>3</sup> День		Масса выбросов, мг/м <sup>3</sup> Вечер		ПДК, мг/м <sup>3</sup>
	Будние дни	Выходные дни	Будние дни	Выходные дни	Будние дни	Выходные дни	
Угарный газ	126,7	60,7	74,5	83,4	118,2	58,5	5,00
Оксиды азота	2,0	1,1	1,2	1,3	2,1	0,7	0,20
Углеводороды	14,6	6,3	12,1	6,3	12,5	8,1	1,00
Сажа	0,05	0,1	0,9*10 <sup>-3</sup>	0,05	0,01	0,2*10 <sup>-3</sup>	0,15
Диоксид серы	0,6	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,50
Формальдегид	0,04	0,02	0,03	0,02	0,05	0,03	0,035
Бенз(а)пирен	57,2*10 <sup>-6</sup>	23,3*10 <sup>-6</sup>	36,2*10 <sup>-6</sup>	31,1*10 <sup>-6</sup>	51,5*10 <sup>-6</sup>	23,5*10 <sup>-6</sup>	1,00*10 <sup>-6</sup>

### Выводы

1. Установлено, что самая большая загруженность Московского проспекта г. Ярославля наблюдается в будние дни утром и вечером. В выходной день пассажиропоток на исследуемых маршрутах примерно в 2 раза меньше по сравнению с рабочими днями.
2. Наиболее загруженным является маршрут автобуса 41а «п. Куйбышев – ТРК «Ярославский Вернисаж»».
3. Вид автотранспорта, представленный на улицах города в большом количестве – легковой автотранспорт, около 80%. 10% составляют пассажирские микроавтобусы «Газели» и еще 10% – автобусы типа «ПАЗ»;
4. Наибольшая нагрузка на автомагистраль на выбранном участке приходится на утро и вечер будних дней, в выходные же дни нагрузка приходится на полдень;
5. Вещества, выбрасываемые автотранспортом в наибольшем количестве – угарный газ и бенз(а)пирен. Их значение превысило ПДК в 12-25 раз и в 23-57 раз соответственно.

В качестве рекомендаций по улучшению ситуации с загрязнением воздуха выбросами автотранспорта в городе можно предложить следующее:

1. Постоянное совершенствование моделей двигателей и уменьшение корпусов автомобилей с целью минимизации потребления ими топлива;
2. Использование экологичных видов топлива (природного газа, жидкого водорода, этилового спирта и прочих разновидностей "зелёного бензина");
3. Снабжение выхлопных труб автомобилей нейтрализаторами. В развитых странах машинам запрещено появляться на дорогах без этих "фильтров" для очистки выхлопных газов;

4. Внедрение автоматизированных систем регулирования движения с целью сокращения времени работы автомобильных двигателей в режиме холостого хода и набора скорости;
5. Создание зоны зелёных насаждений вдоль дорог.

#### Библиографический список

1. Ветошкин А.Г. /Теоретические основы защиты окружающей среды: Учебное пособие. - Пенза: Изд-во ПГАСА, 2002. - 290 с.
2. «МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СВОДНЫХ РАСЧЕТОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДОВ» Москва, 1999 г.
3. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. С. Петербург, 2000 г.

#### References

1. Vetoshkin A. G. / Theoretical foundations of environmental protection: Textbook. - Penza: Publishing house of the PGACA, 2002. - 290 sec.
2. "METHODOLOGY FOR DETERMINING VEHICLE EMISSIONS FOR CONDUCTING SUMMARY CALCULATIONS OF URBAN AIR POLLUTION" Moscow, 1999.
3. List and codes of substances that pollute atmospheric air. St. Petersburg, 2000.

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  
Канд. техн. наук, доцент  
О.А. Волокитина  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7-910-349-72-56  
e-mail: dixi.o@mail.ru  
Канд. техн. наук, доцент  
В.П. Волокитин;  
Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-343-59-37  
e-mail: nova.vp@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  
Cand. of Tech. Science, Associate prof.  
O.A. Volokitina  
Russia, Voronezh, tel.: +7-910-349-72-56  
e-mail: dixi.o@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*

А.В. Еремин, О.А. Волокитина, В.П. Волокитин

### **УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «БЕЗОПАСНЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ»**

Реализуемый национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги» затрагивает вопросы повышения эксплуатационных качеств мостовых сооружений. Одним из способов управления качеством содержания и выявлением дефектности конструкций является своевременная диагностика и паспортизация искусственных сооружений автомобильных дорог.

**Ключевые слова:** мост, автомобильная дорога, дефект, диагностика, паспортизация, оценка технического состояния.

A.V. Eremin, O.A. Volokitina, V.P. Volokitin

### **MANAGEMENT OF THE CONDITION OF BRIDGE STRUCTURES WITHIN THE IMPLEMENTATION OF THE NATIONAL PROJECT "SAFE AND QUALITY CAR ROADS"**

The ongoing national project "Safe and high-quality roads" addresses issues of improving the operational qualities of bridge structures. One of the ways to control the quality of maintenance and to identify defective structures is the timely diagnosis and certification of artificial structures of roads.

**Keywords:** bridge, highway, defect, diagnostics, certification, technical condition assessment.

Реализация национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» предусматривает восстановление и доведение до нормативного состояния дорожной сети регионального значения до 2024 года. В национальном проекте задействованы 83 субъекта Российской Федерации и 104 агломерации. Результатом реализации является увеличение пропускной способности автомобильных дорог, повышение их транспортно-эксплуатационных параметров и как итог – снижение количества дорожно-транспортных происшествий.

Наряду с автомобильными дорогами, в последние годы значительно повысилось внимание к техническому состоянию и уровню содержания мостовых сооружений на региональной сети. Важным звеном в этой работе является оценка технического состояния мостовых сооружений в рамках периодической диагностики и обоснование необходимости постоянного мониторинга изменения состояния. При управлении содержанием мостовых сооружений важной задачей является перспективное планирование проведения планово-предупредительных работ, ремонтов, капитальных ремонтов и реконструкции. На основании опыта проведения периодической диагностики мостовых сооружений для дорог регионального значения выполненной в Калужской, Липецкой, Тамбовской, Воронежской и Нижегородской областях, можно представить наиболее характерные - типовые параметры сооружений и их состояние. В общем числе железобетонных пролетных строений большая часть представляет собой ребристые конструкции с ненапрягаемой арматурой. Так же встречаются плитные пролетные строения и рамные конструкции. В меньшей степени, на региональных дорогах представлены балочные мосты с напрягаемой арматурой и пролетами свыше 21 м, а также, металлические и сталежелезобетонные. Из рассматриваемых сооружений большинство со сроком службы 35-40 лет и незначительное количество со сроком службы 11 и 16 лет. Большинство мостов постройки 60х – 70х годов были отремонтированы или реконструированы с целью обеспечения нормативной грузоподъемности и соответствия современным или близкими к современным требованиям по габариту и по конструкции барьерного ограждения. Ряд конструкций пролетных строений изменены на температурно-неразрезные схемы. Опоры этих сооружений выполнены по типовым пролетам, применяемым при проектировании и строительстве мостовых сооружений в 70 годах прошлого столетия. Они представлены свайными, стоечными, столбчатыми, массивными опорами и опорами-стенками. Опоры путепроводов стоечные и свайные.

Техническое состояние мостовых сооружений, в соответствии требованиями ОДМ 218.3.014-2011 [2], оценивается по трем показателям:

- безопасности эксплуатации;
- грузоподъемности;
- долговечности;
- ремонтпригодности.

Оценка некоторых параметров определяется субъективно, по сопоставлению фактических значений с требуемыми нормативами и степени влияния на дальнейшую эксплуатацию. С позиции безопасности состояние на сегодняшний день оценивается по ряду параметров наиболее значимым из которых является габарит поезда и состояние ограждений безопасности проезда. В качестве требуемого (достаточного) габарита принимаются значения, приведенные в СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» [1] с учетом допустимого снижения ширины полосы безопасности. На период постройки начала 70 годов требуемый габарит составлял 8 м – две полосы по 3,5 м и полосы безопасности по 0,5 м. При ремонтах в 90 годах габарит некоторых сооружений был доведен до 9 и 9,5 м. Сопоставляя требуемый и фактический габариты, можно отметить следующие особенности. Например, в настоящее время, для дорог, относящихся к III технической категории, габарит должен быть равным 10,0 м. Однако фактическая интенсивность движения на участках может превышать параметры III технической категории и достигать 4000 - 5000 тыс. автомобилей в сутки, что соответствует интенсивности дорог II технической категории. Поэтому габарит 10,0 м является явно недостаточным, а сооружения с меньшим габаритом в 9-9,5 м для дорог III технической категории следует отнести к сооружениям повышенной опасности.

Следует заметить, что существенную роль на безопасность движения оказывают ограждения безопасности. Большинство сооружений на региональных дорогах имеют ограждения барьерного типа. Но при этом менее 25% ограждений мостов соответствуют требованиям ГОСТ 52289-2004 «Технические средства организации дорожного движения, правила

применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств». Встречаются ограждения, не отвечающие требованиям ГОСТ 52289-2004 по конструкции – бордюрные ограждения, а так же, мостовые сооружения не имеющие ограждений безопасности проезда.

Оценка по грузоподъемности в меньшей степени страдает субъективностью. Имеет место позитивная тенденция к уменьшению на дороге числа мостов со старыми проектными нагрузками. Большинство мостовых сооружений запроектированы и построены под нагрузки Н-30 (А11) и НК-80, Н-18 и НК-80 встречаются сооружения запроектированы по нормам до 1962 года. При отсутствии дефектов пролетных строений на основании расчетов, установлено, что большинство мостовых сооружения отвечают требованиям пропускания грузов А11 и НК-80. Наиболее часто встречающимся дефектом, снижающим грузоподъемность пролетных строений, является сверхнормативная толщина покрытий за счет укладки лишних слоев асфальтобетона без удаления старых. При этом общая толщина мостового полотна может достигать до 0,50 м. Так же необходимо учитывать что современные нормативные нагрузки регламентируются ГОСТ 52748-2007 «Нормативные нагрузки, расчетные схемы и габариты приближения на автомобильных дорогах общего пользования», а методика расчета определена СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы», ОДМ 218.4.026-2016 «Рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования, бетонные и железобетонные конструкции» и рядом других нормативов.

Оценка состояния по показателю долговечности, выполняемая в соответствии с ОДМ 218.3.014-2011 [2], также не является на сегодня объективным показателем. В частности, субъективно (на основании личного опыта обследователя) оцениваются:

- наличие дефектов, снижающих срок службы сооружений или их несущих конструкций (качественная оценка);
- количество элементов с дефектами;
- распространенность дефектов.

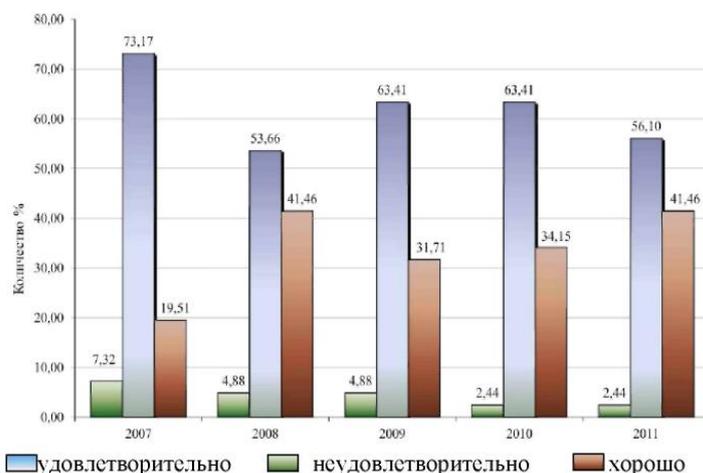
В настоящее время значения остаточного срока службы и степени износа конструктивных элементов мостового сооружения могут быть рассчитаны на основании геометрических параметров и величины развития дефектов с использованием ОДН 218.017-2003 «Руководство по оценке транспортно-эксплуатационного состояния мостовых конструкций». Определение показателей долговечности, при формировании дефектных ведомостей, основано в большей степени на опыт специалистов, которые обследуют мостовые сооружения. Такая оценка часто зависит от квалификации специалистов, осуществляющих диагностические обследования. Поэтому очень важным фактором при оценке сооружения по критерию долговечности является квалификация, независимость и объективность экспертов. Такого положения можно достичь при долговременном независимом мониторинге мостовых сооружений в рамках периодических осмотров, и плановой периодической диагностики выполняемых одними и теми же специалистами.

Динамика оценки состояния мостовых сооружений с учетом планирования ремонтных работ по результатам проведенных обследований представлена на Рис. 1.

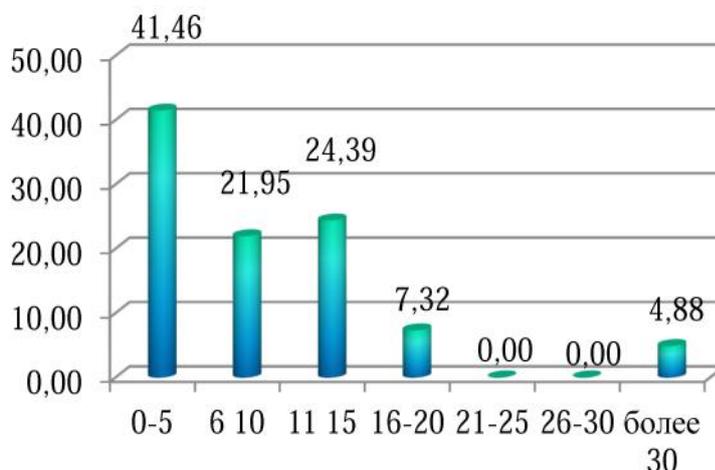
Видно, что в результате взаимодействия работ по диагностике сооружений и эксплуатирующих организаций количество мостов с состоянием «неудовлетворительно» уменьшилось с 7,32 % до 2,44 %. Также произошло уменьшение количества мостов с оценкой «удовлетворительно» до 56 %, свыше 40 % мостовых сооружений имеют оценку «хорошо» [4].

На Рис. 2 приведены данные, характеризующие продолжительность эксплуатации железобетонных мостовых сооружений без текущего ремонта, ППР, капитального ремонта.

Следует отметить, что наблюдаются отдельные сооружения со сроком службы без ремонта, ППР, капитального ремонта более 20 лет (5 % от общего числа), из них половина имеет неудовлетворительную оценку по техническому состоянию.



**Рис. 1.** Изменение состояния мостовых сооружений на участках с выполнением работ по периодической диагностике и постоянному мониторингу



**Рис. 2.** Количество (в процентах) эксплуатируемых мостовых сооружений без выполнения каких либо ремонтных работ

Организация периодической диагностики и мониторинга мостовых сооружений понимается как контроль и управление состоянием сооружения с целью обеспечения надежной его эксплуатации в течение заданного срока службы [3]. В общем случае мониторинг и периодическая диагностика должны быть организованы на всех этапах существования мостового сооружения:

- на этапе проектирования включают обоснованный выбор места мостового перехода, конструктивной схемы моста или путепровода, выбор материалов, правильность конструктивных решений элементов, расчета напряженно-деформированного состояния, обоснованную оценку региональных геологических и климатических условий, выбор средств защиты от агрессивного воздействия среды при эксплуатации;

- на этапе строительства сооружения включают соблюдение проектных решений по технологии изготовления и монтажа, а при невозможности точного следования проекту - обоснованность замены одного технологического решения другим;

- на этапе эксплуатации - диагностика состояния сооружения, оценка грузоподъемности и остаточного ресурса, принятие и осуществление рекомендаций по ремонту и реконструкции или замене объекта.

Опыт взаимодействия по осуществлению независимой диагностики и мониторинга за состоянием мостовых сооружений позволил выработать определенную систему этой работы и сделать некоторые обобщающие выводы:

- постоянный независимый мониторинг и периодическая диагностика позволяют совершенствовать методы управления содержанием мостовых сооружений за счет данных по реальному техническому состоянию каждого объекта, вследствие повышения уровня обоснованности проведения реконструкции или ремонта, по своевременному назначению профилактических работ, развитию системы контроля за выполнением нормативных работ содержания.

- постоянный независимый мониторинг и периодическая диагностика обеспечивают наблюдение за развитием наиболее опасных дефектов конструкций мостовых сооружений, позволяет своевременно реагировать на изменения в техническом состоянии, не допуская создания аварийной ситуации.

- постоянный независимый мониторинг и периодическая диагностика повышают уровень содержания мостовых сооружений и обеспечивают улучшение общего технического состояния, за счет своевременного назначения ремонтных работ.

В рамках работ по реализации национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» необходимо развивать систему независимой периодической диагностики и постоянного мониторинга мостовых сооружений на дорогах регионального значения, которая должна включать:

- системный анализ условий и факторов, определяющих сопротивляемость конструкций мостового сооружения разрушению с учётом различных стадий их жизненного цикла;

- создание компьютерных банков данных по типу конструкций мостовых сооружений, по материалам и их свойствам с учётом региональных условий их эксплуатации и специфики воздействия внешней среды;

- создание регламентов мониторинга – определение периодичности диагностики материалов по исходному состоянию, по изменению свойств при эксплуатации, по оценке напряженно - деформированного состояния и грузоподъемности;

- разработку математических моделей, адекватно описывающих процессы эксплуатации мостового сооружения и позволяющих прогнозировать живучесть сооружения по показателям прочности, трещиностойкости, усталости, а также по функциональным характеристикам;

- разработку мер обеспечения надежности конструкции на основании результатов многофакторной комплексной оценки её состояния, включающей прогнозирование служебных характеристик и допустимого срока эксплуатации объекта при данном его состоянии, а также разработку ремонтно - профилактических мер и рекомендаций по повышению надежности объекта на стадии эксплуатации.

#### Библиографический список

1. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\* [Текст] – Введ. 2011-05-20. – М.: Изд-во стандартов, 2011.

2. ОДМ 218.3.014-2011 Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах [Текст] – Введ. 2011-11-17. – М.: Изд-во стандартов, 2011.

3. Овчинников, И.Г. Управление эксплуатацией мостовых сооружений/ И.Г. Овчинников, И.Д. Козлов. – Саратов: СГТУ, 1998. – 89 с.

4. Еремин, В.Г. Использование результатов мониторинга при управлении содержанием мостовых сооружений и оценке развития дефектов конструкций/ В.Г. Еремин, И.В. Ладыженский, А.В. Ерёмин, Као Ван Лам// Сборник «Дороги и мосты». – 2011. – Вып. 26/2. – С. 212 – 230.

## References

1. SP 35.13330.2011 Bridges and pipes. Updated edition of SNIP 2.05.03-84 \* [Text] - Introduction. 2011-05-20. - M.: Publishing house of standards, 2011.
2. ODM 218.3.014-2011 Methodology for assessing the technical condition of bridge structures on roads [Text] - Introduction. 2011-11-17. - M.: Publishing house of standards, 2011.
3. Ovchinnikov, I. G. Management of operation of bridge structures / I.G. Ovchinnikov, I.D. Kozlov. - Saratov: SSTU, 1998. -- 89 p.
4. Eremin, V.G. The use of monitoring results when managing the contents of bridge structures and assessing the development of structural defects / V.G. Eremin, I.V. La-Dyzhensky, A.V. Eremin, Kao Van Lam // Collection "Roads and Bridges". - 2011. - Issue. 26/2. - S. 212 - 230.

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доцент кафедры  
строительной техники и инженерной  
механики имени профессора Н.А. Ульянова  
Ю.Н. Спасибухов,  
Канд. техн. наук, доцент кафедры  
строительной техники и инженерной  
механики имени профессора Н.А. Ульянова  
А.Н. Щиенко.  
Россия, г. Воронеж,  
e-mail: [sdsabz@mail.ru](mailto:sdsabz@mail.ru)*

*Voronezh State  
Technical University  
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  
A.N. Shchienko.  
Russia, Voronezh,  
e-mail: [sdsabz@mail.ru](mailto:sdsabz@mail.ru)*

Ю.Н. Спасибухов, А.Н. Щиенко

### **ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ МАШИН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

В статье проведен анализ методов, позволяющих рассчитать количественный состав комплектов машин, применяемых в строительстве и ремонте автомобильных дорог. Проанализирована математическая модель сравнения комплектов машин по экономическим показателям.

**Ключевые слова:** Строительство автомобильных дорог, состав комплекта машин, производительность, затраты на строительство, частный эффект.

Yu.N. Spasibukhov, A.N. Shchiyenko

The article analyzes methods that allow calculating the quantitative composition of sets of machines used in the construction and repair of roads. The mathematical model of comparing machine sets by economic indicators is analyzed.

**Keywords:** Construction of roads, the composition of a set of machines, productivity, construction costs, private effect.

В условиях современного строительства и ремонта автомобильных дорог первостепенное значение приобретают вопросы сроков и темпов производства, а также качества применяемых материалов и методов строительства. Основные операции при строительстве автомобильных дорог производятся при помощи высокопроизводительной техники, составляющей комплект или парк машин. Строительство или ремонт дороги можно разбить на ряд этапов, на каждом из которых работы производятся комплектами машин, состоящими из основной и вспомогательных машин.

Основные машины как правило это машины специализированные (экскаваторы, асфальтоукладчики и др.), вспомогательные машины – более универсальные (автосамосвалы, автогрейдеры, дорожные катки, бульдозеры). Из трудов многих ученых, занимавшихся проблемами формирования комплектов машин, известно, что производительность основной машины комплекта должна быть меньше сумм производительности вспомогательных машин

на каждой операции  $\Pi < \Pi_1 < \Pi_2 < \dots < \Pi_n$ . Проанализируем вариант формирования комплекта «асфальтоукладчик-самосвалы».

Количество самосвалов в комплекте определяем по условию согласования работы машин по ритму рабочего процесса

$$m_{расч} = \frac{T_{ц}^c}{t_{разг}}, \quad (1)$$

где  $T_{ц}^c$  – время цикла самосвала, с;

$t_{разг}$  – время разгрузки самосвала в бункер асфальтоукладчика, с.

Фактическое количество самосвалов  $m_{факт}$ , необходимых для работы с выбранным асфальтоукладчиком следует принять с учетом округления  $m_{расч}$  до ближайшего целого.

Эксплуатационная часовая производительность комплекта рассчитывается по одной из двух формул в зависимости от соотношения  $m_{факт}$  и  $m_{расч}$ . При  $m_{факт} < m_{расч}$  самосвалов недостает, асфальтоукладчик простаивает, производительность находим по продолжительности цикла самосвалов.

Эксплуатационная часовая производительность транспортных средств комплекта  $\Pi_{сэ}$  (т/ч) определяется по формуле

$$\Pi_{сэ} = 3600 \frac{G_c \cdot K_2 \cdot K_g \cdot m}{t_{ног} + \frac{L}{v_{гр}} + \frac{L}{v_{нор}} + t_{разг} + t_{нм}}, \quad (2)$$

где  $K_2$  – коэффициент использования грузоподъемности автомобиля (при транспортировке асфальтобетонной смеси  $K_2 = 0,95 \dots 1,1$ );

$K_g$  – коэффициент внутрисменного использования самосвала, ( $K_g = 0,8 \dots 0,9$ );

$t_{ног}, t_{разг}, t_{нм}$  – соответственно, время загрузки, разгрузки, подъезда самосвала к укладчику, с;

$L$  – дальность транспортирования материала от АБЗ до места производства работ, м;

$v_{гр}, v_{нор}$  – соответственно, скорость груженого и порожнего самосвала, м/с.

При  $m_{факт} \geq m_{расч}$  наблюдается избыток самосвалов, возникают простои транспортных средств. В этом случае часовую производительность комплекта находим по продолжительности разгрузки самосвала в бункер асфальтоукладчика, которая зависит от производительности основной машины.

Эксплуатационная часовая производительность асфальтоукладчика определяется по формуле

$$\Pi_a = 60 \kappa_g B h v_p \rho, \quad (3)$$

где  $\kappa_g$  – коэффициент использования машины по времени;

$B$  – ширина укладываемой полосы, м;

$h$  – толщина укладываемого слоя, м;

$v_p$  – рабочая скорость укладчика, м/мин;

$\rho$  – требуемая плотность асфальтобетонной смеси, т/м<sup>3</sup>.

Эксплуатационная часовая производительность транспортных машин-самосвалов должна удовлетворять условию  $\sum \Pi_{сэ} \geq \Pi_{ау}$

Количество самосвалов, необходимое для работы с асфальтоукладчиком при укладке асфальтобетона при строительстве автодороги, принимают

$$m_c = \Pi_a / \Pi_{сэ}, \quad (4)$$

При этом, если производительность самосвалов будет больше, чем производительность асфальтоукладчика, то самосвалы будут скапливаться перед укладчиком, ожидая своей разгрузки.

Производительность асфальтосмесительной установки также влияет на производительность комплекта машин. При неравномерном прибытии транспортирующих машин к асфальтобетонному заводу, не имеющего бункера-накопителя, возможна остановка АБЗ. При длительных остановках тратится время для розжига горелки и нагрева инертных материалов в сушильном барабане перед возобновлением выпуска асфальтобетонной смеси.

Следует отметить, что при подборе комплекта машин для каждого вида работ следует учитывать реальные условия и сроки производства работ, экономические критерии. При составлении проекта производства работ комплекты машин из парка организации подбирают по методу вариантного проектирования. [1]

Выбор состава комплектов машин осуществляется в два этапа.

На первом этапе в зависимости от технологической характеристики строительного процесса определяют схему комплексной механизации [2], основные параметры ведущих машин, их типоразмер, а также типаж технологически необходимых вспомогательных машин.

Из полученного ряда типоразмеров намечают несколько возможных вариантов ведущих машин и соответствующих им вспомогательных. Чаще всего в организациях выбор вспомогательных машин и основной машины ограничивается машинами, находящимися на балансе фирмы, что негативно может сказаться на экономических показателях. Однако на такие шаги приходится идти, так как альтернативные варианты сводятся к аренде необходимых машин других организаций, а собственная техника предприятия, не подходящая по каким-то параметрам будет простаивать, что не логично. Поэтому сначала загружают объемами машины, находящиеся на балансе организации, а затем дополнительно привлекают недостающие машины для составления необходимого комплекта машин.

Вспользуемся основными положениями математической модели оптимизации структуры парка машин, предложенной Пермяковым В.Б. и Ивановым В.Н. [1], в которой предусматривается создание в организации некоторого количества специализированных комплектов машин (СКМ) от 1, 2, 3 до  $i$ . В парке могут быть машины различного функционального назначения от А до Х. На практике при строительстве и ремонте автомобильных дорог количество СКМ зависит от наличия на строительной площадке основных машин различных назначений: подготовительные, землеройные, землеройно-транспортные, машины для уплотнения грунтов, машины для распределения, укладки и уплотнения дорожно-строительных материалов и др.

Параметры объекта строительства, такие как протяженность, количество захваток, категория строящейся или ремонтируемой дороги, сроки строительства также влияют на количество СКМ, принимающих участие в строительстве. Также следует отметить, что состав некоторых СКМ может меняться в зависимости от важности выполняемых работ.

Темп строительства для  $i$ -того СКМ определяется как суммарная производительность машин с единым функциональным назначением, имеющих наименьшую в технологическом процессе суммарную производительность

$$t = \min(\sum_1^A (\Pi_i^A n_i^A); \sum_1^B (\Pi_i^B n_i^B); \dots \sum_1^X (\Pi_i^X n_i^X)), \quad (5)$$

где  $1, \dots, i$  – индекс комплекта машин;

$A, \dots, X$  – индекс функционального назначения машины;

$\Pi^{A\dots X}$  – часовая эксплуатационная производительность машины одного функционального назначения и типоразмера;

$n^{A\dots X}$  – количество машин в СКМ каждого функционального назначения и типоразмера.

Зная сметную стоимость единицы продукции  $R_x$ , которую создают машины одного функционального назначения, можно определить результат, который создает СКМ за один час работы

$$R_{СКМ} = (\sum_1^A (\Pi_i^A n_i^A) R_A + \sum_1^B (\Pi_i^B n_i^B) R_B + \dots + \sum_1^X (\Pi_i^X n_i^X) R_X), \quad (6)$$

Затраты на приобретение строительных материалов, расходуемых за один час работы СКМ, определяют

$$3^m = q_i C_i^m, \quad (7)$$

где  $C_i^m$  – стоимость материала в единице продукции  $i$ -го СКМ, руб.;  
 $q_i$  – количество материалов, расходуемых за один час работы СКМ, м<sup>3</sup>.

Также необходимо учесть при анализе работы СКМ затраты на эксплуатацию машин и механизмов  $S$ , как сумму произведений количества машин одного функционального назначения в комплекте на себестоимость одного машиночаса.

Частный эффект от работы  $i$ -го СКМ в течение одного часа можно определить по формуле

$$Z_i = R_{СКМ} - 3^m - S, \quad (8)$$

Таким образом модель позволяет сравнивать СКМ различных составов и типоразмеров с целью выбора экономически более эффективного варианта. Данная формула не учитывает затрат на перебазировку техники, что при сравнении комплектов машин в некоторых случаях существенны. Зная объемы строительства и определив время работы каждого СКМ на объекте, необходимо произвести сравнение комплектов машин при выполнении одинакового проектного объема работ с учетом затрат на перебазировку техники.

#### Библиографический список

1. Пермяков В.Б. Комплексная механизация строительства. Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 2005.- 383.: ил.
2. Кудрявцев, Е.М. Комплексная механизация строительства: учебник для вузов / Е.М. Кудрявцев. Изд. третье, перераб. и доп. – М.: изд-во АСВ, 2013. – 464 с.

#### References

1. Permyakov V.B. Complex mechanization of construction. Textbook for high schools. - M.: Higher School, 2005.- 383 .: ill.
2. Kudryavtsev, E.M. Integrated construction mechanization: a textbook for high schools / E.M. Kudryavtsev. Ed. third, reslave. and add. - M.: DIA Publishing House, 2013 .-- 464 p.

# ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 697.1:536.2

*Воронежский государственный технический университет*  
*Профессор кафедры проектирования зданий и сооружений им. Н.В.Троицкого*  
*Э.Е.Семенова*  
*Магистр кафедры проектирования зданий и сооружений им. Н.В.Троицкого*  
*С.В.Ахрименко*  
*Россия, г. Воронеж, тел. +79515655319*  
*e-mail:serg001208@yandex.ru*

*Voronezh State*  
*Technical University*  
*Professor, Department of Design of Buildings and Structures N.V. Troitsky*  
*E.E. Semenova*  
*Master of the Department of Design of Buildings and Structures N.V. Troitsky*  
*S.V. Akhrimenko*  
*Russia, Voronezh, tel. +79515655319*  
*email:serg001208@yandex.ru*

С.В.Ахрименко, Э.Е.Семенова

## АНАЛИЗ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ – КРЫШИ

В данной статье рассмотрено использование наиболее распространенных и эффективных материалов для утепления крыши с точки зрения повышения энергоэффективности жилого дома. Выделены наиболее подходящие материалы по составу, техническим и физическим свойствам.

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность, теплопотери здания, технологии утепления крыши.

S.V. Akhrimenko, E.E. Semenova

## ANALYSIS OF HEAT-INSULATING MATERIALS APPLIED TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF CONSTRUCTION ON THE EXAMPLE OF THE FENCING CONSTRUCTION – ROOF

This article discusses the use of the most common and effective materials for roof insulation in terms of improving the energy efficiency of a residential building. The most suitable materials were selected by composition, technical and physical properties.

**Keywords:** energy efficiency, building heat loss, roof insulation technologies.

Тема энергетической эффективности здания в настоящее время является весьма актуальной. Энергосбережение позволяет существенно сократить затраты как на возведение, так и на эксплуатацию уже построенных зданий, а это как никогда важно в XXI веке. Научный мир не стоит на месте, многие ученые занимаются данным вопросом, например В.М.Талалыкин, Е.Б.Смирнов, Т.А.Дацюк, Н.В.Васильева, именно поэтому технологии строительства и энергосбережения постоянно совершенствуются и выходят на новый уровень.

Правительство РФ также понимает актуальность вопроса, так был издан приказ Минстроя России №1550/пр «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений» от 17.11.2017 г. Данный документ гласит, что с 01 июля 2018 года проекты зданий, которые проходят экспертизу, должны обеспечивать сокращение энергопотребления

зданий на 20%. С 2023 года требуемое снижение энергопотребления при проектировании зданий составит 40%, а с 2028 года — 50% по отношению к базовому уровню. Чтобы добиться таких результатов следует, в первую очередь, определить принцип теплопотерь, а именно через какую ограждающую конструкцию здание потеряет тепло в наибольшей степени.

На рисунке 1 представлено в процентном соотношении, что наибольшее число 25-30 % теплопотерь происходит через крышу. Именно поэтому, рассмотрим сокращение теплопотерь через данный элемент здания.

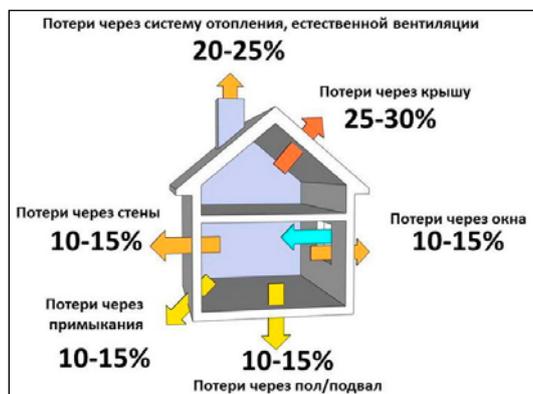


Рис. 1. Основные теплопотери здания

С целью уменьшения теплопотерь используются различные утепляющие материалы, как современные, так и традиционные. Например, к традиционным можно отнести опилки и керамзит, к современным и наиболее доступные передовым материалам: пенополистирол (ячеистый полимерный теплоизолятор), минвата (материал, изготовленный из расплавленных горных пород), пенополиуретан (жидкая пена двухкомпонентного состава).

Для сравнительной характеристики утепляющих материалов выполним сравнительные оценочные теплотехнические расчеты ограждающей конструкции – крыши в программе SmartCalc для климатического района: Россия, Воронежская обл., г.Воронеж.

Расчет №1 (с использованием утеплителя пенополистирол) представим на рис.2.

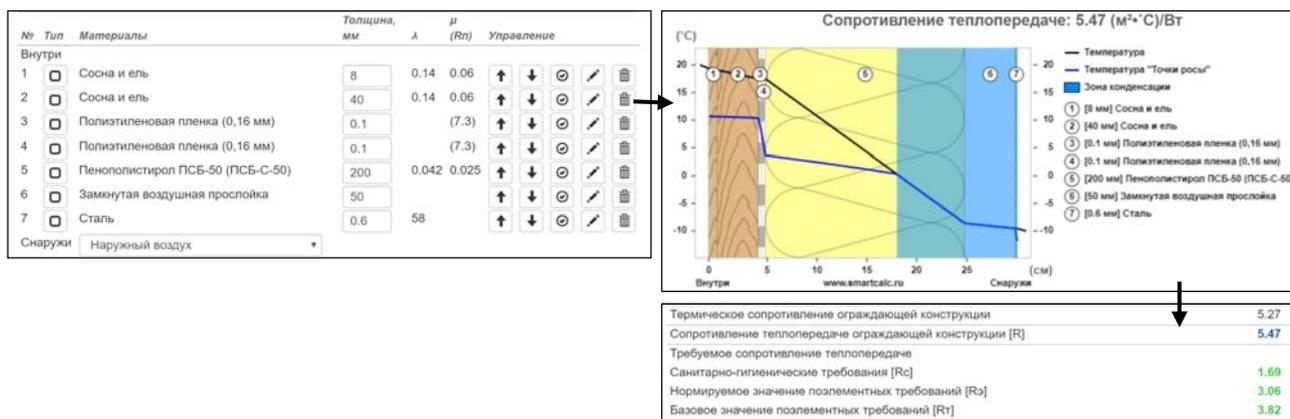


Рис. 2. Схема расчета конструкции кровли с использованием пенополистирола

Санитарно-гигиенические требования:  $R > R_c$ . Ограждающая конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам по тепловой защите.

Расчет №2 (с использованием утеплителя минваты) представим на рис.3.

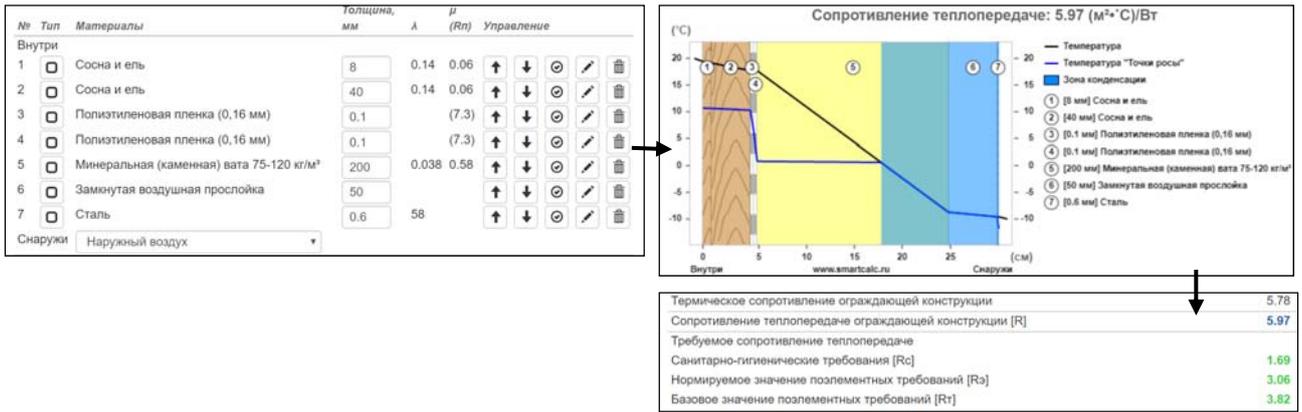


Рис. 3. Схема расчета конструкции кровли с использованием минваты

Санитарно-гигиенические требования:  $R > R_c$ . Ограждающая конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам по тепловой защите.

Расчет №3 (с использованием утеплителя пенополиуретана) представим на рис.4.

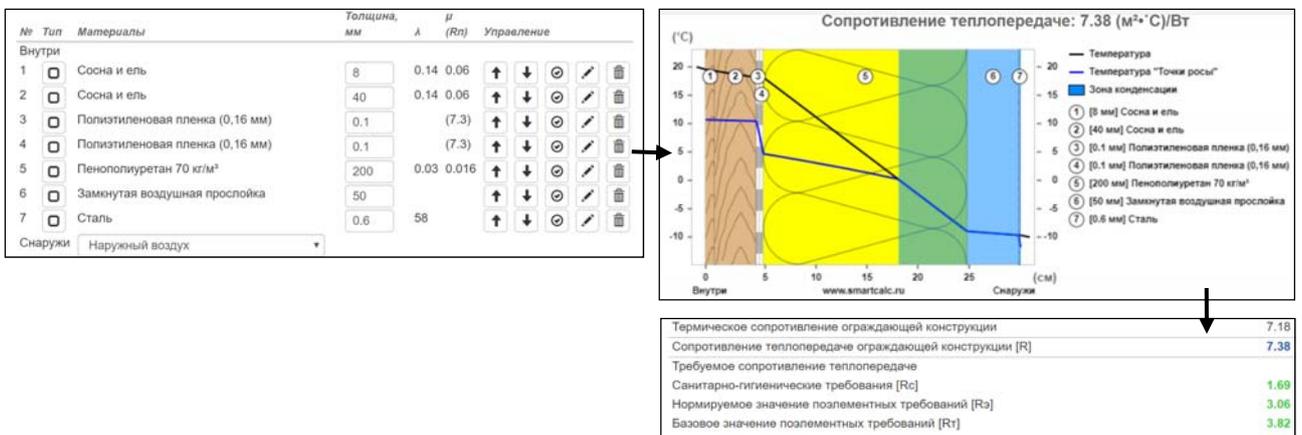


Рис. 4. Схема расчета конструкции кровли с использованием пенополиуретана

Санитарно-гигиенические требования:  $R > R_c$ . Ограждающая конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам по тепловой защите.

Поэлементные требования:  $R > R_t$ . Ограждающая конструкция удовлетворяет нормам по тепловой защите вне зависимости от иных требований.

Расчет №5 (с использованием традиционного утеплителя опилки) представим на рис.5.

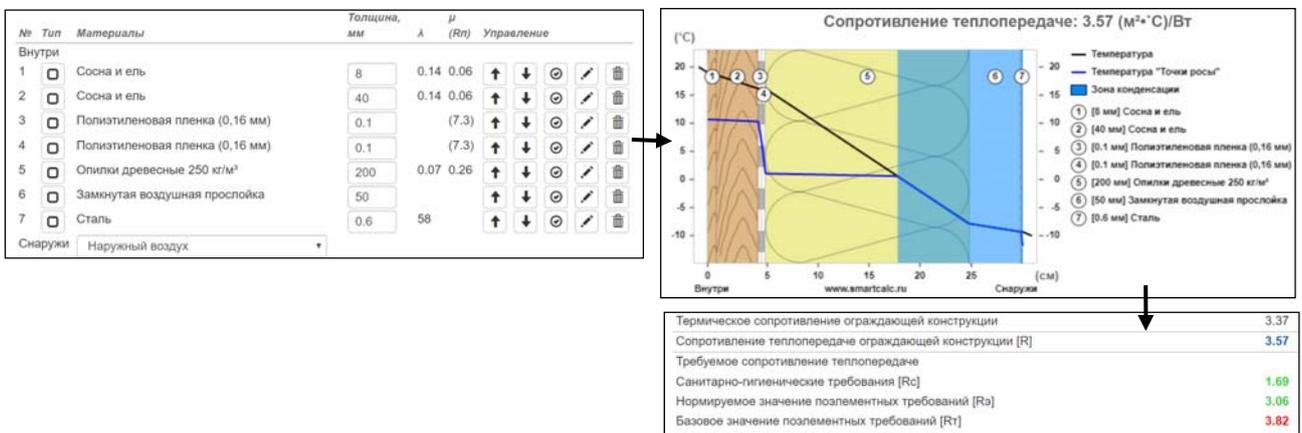


Рис. 5. Схема расчета конструкции кровли с использованием опилок

Санитарно-гигиенические требования:  $R < R_c$ . Ограждающая конструкция не удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам по тепловой защите.

Поэлементные требования:  $R < R_{\Sigma}$ . Ограждающая конструкция не удовлетворяет нормам (поэлементные требования) по тепловой защите.

Расчет №6 (с использованием традиционного утеплителя керамзита) представим на рис.6.

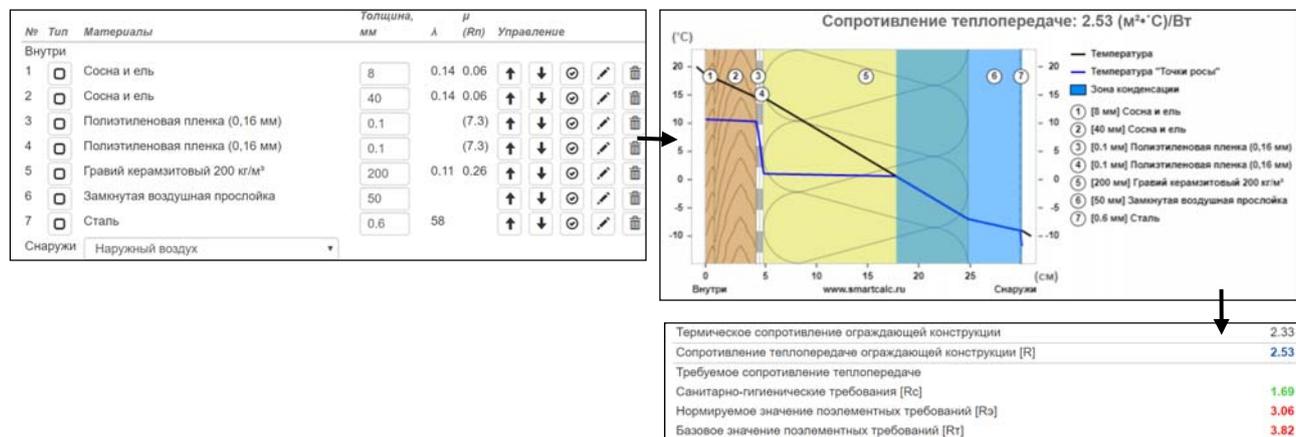


Рис. 6. Схема расчета конструкции кровли с использованием керамзита

Санитарно-гигиенические требования:  $R < R_c$ . Ограждающая конструкция не удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам по тепловой защите.

Поэлементные требования:  $R < R_{\Sigma}$ . Ограждающая конструкция не удовлетворяет нормам (поэлементные требования) по тепловой защите.

В таблице 1 представляем результаты расчета по анализу теплоизоляционных материалов.

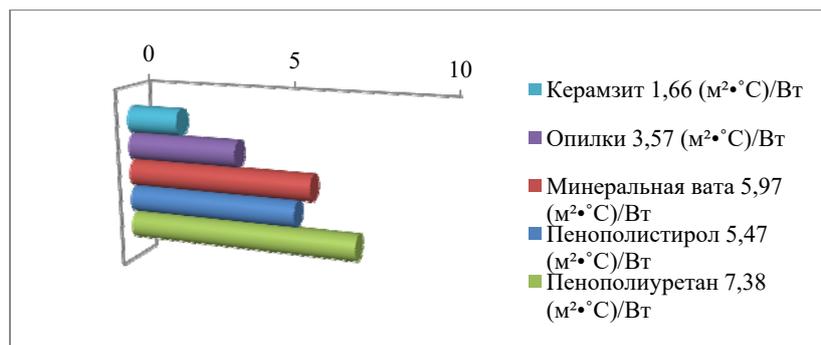
Таблица

Сравнительная характеристика теплоизоляционных материалов

№	Наименование	$\lambda$ Вт/(м²·°C)	R (м²·°C)/ Вт	T <sub>max</sub> °C	T <sub>min</sub> °C	R <sub>констр.</sub> (м²·°C)/Вт	R <sub>c</sub> (м²·°C)/ Вт	R <sub>Σ</sub> (м²·°C)/ Вт
1	Пенополистирол	0,042	4,76	17,5	-8,6	5,47	1,69	3,06
2	Минвата	0,038	5,26	17,7	-8,7	5,97	1,69	3,06
3	Пенополиуретан	0,030	6,67	18,1	-9,0	7,38	1,69	3,06
4	Опилки	0,070	2,86	16,2	-7,9	3,57	1,69	3,06
5	Керамзит	0,110	1,82	17,6	-7,0	2,53	1,69	3,06

### Выводы

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что с точки зрения теплотехнических свойств, первенство по праву можно отдать современным материалам, например таким как пенополистирол, минеральная вата, пенополиуретан. Результаты расчетов представим на диаграмме.



**Рис. 7.** Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R, (м²·°C)/Вт теплоизоляционных материалов

При сравнении этих материалов (без учета экономических расчетов) в идентичных составляющих кровельного «пирога» нами было выяснено, что наибольшее сопротивление теплопередаче (7,38 (м²·°C)/Вт) имеет конструкция с использованием пенополиуретана.

#### Библиографический список

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. - М.: Минрегион России, 2012.
2. Новые строительные материалы и изделия. Региональные особенности производства. - М.: АСВ, 2014. - 508 с.
3. Семенов В.Н., Семенова Э.Е. Энергосбережение при проектировании зданий как ключевой фактор инновационного развития строительной отрасли // Недвижимость: экономика, управление. – 2018. – № 3. – С. 44-48.
4. Семенова Э.Е., Мельников Е.Д., Пономарева Г.В. Анализ проектирования жилых зданий с учетом энергосбережения // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2018. – №1. – С. 30-33.
5. Семенова Э.Е., Смелов Н.В. Конструктивные решения для повышения энергоэффективности при реконструкции зданий старой застройки // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 1 (22). – С. 202-205.
6. <https://energo-audit.com/energoberezhenie-v-stroitelstve>

#### References

1. SP 50.13330.2012 Thermal protection of buildings. Updated edition of SNiP 23-02-2003. - Moscow: Ministry of Region of Russia, 2012.
2. New building materials and products. Regional features of production. - M.: DIA, 2014. - 508 p.
3. Semenov V.N., Semenova E.E. Energy conservation in the design of buildings as a key factor in the innovative development of the construction industry // Real Estate: Economics, Management. - 2018. - No. 3. - S. 44-48.
4. Semenova E.E., Melnikov E.D., Ponomareva G.V. Analysis of the design of residential buildings, taking into account energy conservation // High technology in the construction complex. - 2018. - No. 1. - S. 30-33.
5. Semenova E.E., Smelov N.V. Constructive solutions to improve energy efficiency in the reconstruction of old buildings // Scientific journal. Engineering systems and facilities. - 2016. - No. 1 (22). - S. 202-205.
6. <https://energo-audit.com/energoberezhenie-v-stroitelstve>

*Воронежский государственный  
технический университет  
Ст. преподаватель кафедры проектирова-  
ния зданий и сооружений  
И.А. Войтенко  
Магистрант кафедры проектирования зда-  
ний и сооружений  
А. А. Свиридова  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(960) 117-80-89  
e-mail: [annasviridova96@gmail.com](mailto:annasviridova96@gmail.com)*

*Voronezh State  
Technical University  
Senior Lecturer of the designing of buildings  
and constructions faculty,  
I. A. Voitenok  
Master of the designing of buildings and con-  
structions faculty  
A. A. Sviridova  
Russia, Voronezh, tel. +7 (960) 117-80-89  
e-mail: [annasviridova96@gmail.com](mailto:annasviridova96@gmail.com)*

И.А. Войтенко, А.А. Свиридова

### **РОЛЬ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕШЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ «ДОСТУПНОГО ЖИЛЬЯ»**

Рассмотрены основные приемы энергосбережения, которые возможно и необходимо применять в рамках понятия «доступное жилье».

**Ключевые слова:** доступное жилье, жилье эконом-класса, стандартное жилье, энергосбережение, энергоэффективность, объемно-планировочные решения.

I.A. Voitenok, A.A. Sviridova

### **THE ROLE OF ENERGY-SAVING SOLUTIONS IN CREATING OF AFFORDABLE HOUSING**

. The basic methods of energy saving, which are possible and necessary to apply in the concept of "affordable housing".

**Keywords:** affordable housing, economy housing, standard housing, energy saving, energy efficiency, space-planning solutions.

Доступность жилья является многофакторной категорией.

По нормам современных развитых стран, понятие «доступное жилье», в широком смысле, означает, что порядка 80% работающих граждан имеют возможность купить или арендовать жилье. По другой формулировке это такое жилье, которое может приобрести или арендовать семья со средним достатком по цене, не превышающей 30% от общего дохода всех членов семьи, включая в себя налоги, страховку и оплату жилищно-коммунальных услуг.

В международной практике формирование «доступности жилья» - это создание экономической ситуации, в которой существует возможность приобретения жилья для большинства слоев населения при имеющемся уровне доходов и сложившемся уровне цен, используя рыночные механизмы и государственную поддержку, основанные на кредитно-накопительных схемах.

Таким образом термин «доступное» жилье – это в большей степени социально-экономическое понятие, а не объект недвижимости, обладающий какими-либо определенными параметрами. При этом «доступное» встречается как в определении доступности коммерческого жилья для обеспеченных слоев населения, так и в доступности социального жи-

ля для малообеспеченных. В международном профессиональном языке используется английское слово «affordability» - возможность обеспечения адекватным жильем тех категорий населения, которые не могут самостоятельно его приобрести на рыночных условиях (социальное жилье), а «accessibility» в значении «доступность» - достаточное предложение жилья на свободном рынке для всех рыночных механизмов его приобретения или аренды. То есть специалисты разных стран в качестве критерия могут принимать доступность оплаты жилья при приобретении в собственность коммерческого жилья или доступность оплат на содержание социального жилья.

В Российской Федерации в настоящее время термин «доступное жилье» ни в одном законодательном акте не определен. В различных источниках указанное понятие определяется по-разному. В программе «Жилище» («Доступное и комфортное жилье гражданам России») в термин «доступность» авторами заложено в основном значение создания достаточного рыночного предложения для различных платежеспособных вариантов. В тоже время основным лейтмотивом в обыденных интерпретациях этого понятия является тема «дешевого», «небольшого по цене» жилья, «доступного всем обычным людям» [2]. На сегодняшний день, в условиях, когда решающим при покупке жилья является вопрос цены, спросом пользуется жилье эконом-класса. Поэтому зачастую аналитиками термин «доступное жилье» применим только к этому типу комфортности жилых домов.

Стоит отметить, что в федеральной целевой программе «Жилище» для повышения доступности жилья большое внимание также уделяется формированию рынка жилья именно эконом-класса, комфортного и отвечающего мировым тенденциям в области доступного жилья, а именно требованиям энергоэффективности и экологичности.

Следовательно, в развитии рынка доступного жилья, в качестве одной из составляющих необходимо учитывать энергоэффективность зданий и сооружений.

В России проблема внедрения энергоэффективных технологий является одной из ключевых. Хотя существует Федеральный закон «Об энергосбережении и энергоэффективности», как основа стимулирования энергосбережения в России, соблюдение его требований зачастую формально.

Основным препятствием на пути к инновациям в области энергосбережения применимо к «доступному жилью» является отсутствие коммерческого интереса большинства застройщиков к внедрению новых технологий, так как это отражается на повышении стоимости квадратного метра помещения на 15–20 % в структуре себестоимости. По данным МИНСТРОЯ России, опубликованным в «Стратегии развития жилищной сферы Российской Федерации на период до 2025 года» «текущее состояние строительной индустрии в Российской Федерации характеризуется высокой себестоимостью в жилищном строительстве». Соответственно, полагая, что один из способов формирования рынка «доступного жилья» – это снижение себестоимости строительства, энергосберегающие мероприятия не должны увеличивать стоимость жилья.

Конечно, термин «доступность», имеет в виду не только возможность свободного приобретения жилья, но и последующее содержание и обслуживание данного жилья, т.е. эксплуатационные расходы, большую долю которых занимает оплата коммунальных услуг поквартирных и общедомовых. В этом контексте основным аргументом для внедрения энергосберегающих технологий может являться их влияние на снижение потребления энергоресурсов будущим собственником. Не смотря на это, зачастую цена объекта недвижимости настолько важный критерий при покупке, что она несопоставима с остальными. Сегодня, в силу отсутствия заинтересованности застройщика, инвестора, покупателя, энергосберегающие технологии не находят широкого применения в РФ.

Однако в современном мире энергосбережение – это одно из главных направлений технологического развития, затрагивающее интересы всего общества, которым нельзя пренебрегать полностью в любых отраслях народного хозяйства.

Из всего вышесказанного следует, что при формировании рынка «доступного жилья» энергосберегающие технологии необходимо применять, но минимизируя при этом их финансовое влияние на стоимость жилья.

Архитектурно-технические мероприятия по повышению энергоэффективности жилых зданий предусматривает разработку рациональных объемно-планировочных решений, теплоэффективных конструкций наружных ограждений, современных инженерных систем, контрольно-измерительных и регулирующих приборов, использование нетрадиционных источников тепла.

Наибольший энергосберегающий эффект эти мероприятия дают в комплексе. Но внедрение сложных инженерных систем и оборудования, позволяющих снизить расход природных ресурсов, а также дорогостоящих источников возобновляемой энергии, может серьезно повлиять на себестоимость здания. Так как эти мероприятия не носят обязательный характер при возведении жилья, застройщик неохотно идет на их внедрение.

Поэтому для «доступного жилья» эконом-класса предпочтительны менее затратные и в то же время эффективные меры по энергосбережению, которыми являются рациональные объемно-планировочные, архитектурно-конструктивные решения и контрольно-измерительные приборы.

Некоторые объемно-планировочные решения жилых домов могут в значительной мере улучшать энергоэффективные показатели здания, но не влияют на капитальные затраты при строительстве. Например, пассивные меры эффективного использования солнечной энергии, уменьшающие затраты энергии на искусственное освещение, на отопление и охлаждение помещений включают:

- оптимальную ориентацию здания относительно сторон света и затеняющих объектов градостроительной ситуации,
- рациональное расположение оконных проемов и глухих торцов относительно оси север-юг и преобладающих зимних ветров,
- использование приемов верхнего и «второго» естественного света,
- нормативное значение коэффициента компактности, учитывающего высоту здания, этажа, форму в плане, ширину корпуса.

При разработке проектной документации класс энергоэффективности для вновь возводимых зданий должен быть не ниже «С», поэтому для любых жилых домов, в том числе эконом-класса, необходимы конструктивные меры энергосбережения. Класс энергоэффективности зависит от уровня утепления, толщины стен, материалов, используемых при постройке, наличия утечек тепла. В основном для достижения минимально допустимого класса энергоэффективности застройщик ограничивается применением современных материалов с низкой теплопередачей и эффективными системами утепления. Но так как теплоизоляция – ключевой аспект энергосбережения в строительстве, важно проектирование комплексной защитной термооболочки вокруг здания: обеспечение «однородности» ограждающих конструкций, непроницаемость стен, герметизация швов и стыков, упразднение выступов и деталей на фасадах, исключение «мостов холода», возникающих из-за выносных элементов (балконов, например).

Также однородность теплоизоляционной оболочки нарушается по причине установки негерметичных окон. Для повышения энергоэффективности дома сегодня в качестве основной меры могут применяться стеклопакеты с тройным остеклением, стеклопакеты с заполнением инертными газами, стеклопакеты с низкоэмиссионными покрытиями стекол лоджий, остекление балконов и лоджий, установка солнцезащитных устройств. Но эти мероприятия относятся к долгосрочным, то есть требующим значительных капитальных вложений и со сроком окупаемости более 5 лет. Поэтому в себестоимости жилья эконом-класса могут иметь большой вес.

Кроме того, в многоэтажных многоквартирных домах в качестве энергосберегающих мер широкое применение получили системы управления освещением с датчиками присутствия и обязательная установка приборов учета всех видов топлива и энергии.

В европейской строительной практике муниципального, социального и коммерческого «доступного жилья» достаточно развито возведение зданий, в которых за счет пассивных энергосберегающих мероприятий значительно уменьшается нагрузка на активное отопление, охлаждение, электроосвещение.

Самое высокое пассивное жилое здание Европы (шестиэтажное на 45 квартир) построено в Гамбурге (Германия), в районе морского порта Хафенсити. Жилые помещения здания имеют преимущественно южную ориентацию в сторону гавани города. Остекление организовано двухкамерными стеклопакетами с двумя слоями низкоэмиссионного покрытия и заполнением межстекольного пространства инертным газом. Размеры и форма балконов заложена из условия обеспечения затенения светопроема от падающей солнечной радиации в теплый период года и свободного ее поступления в помещения в переходный и холодный периоды. Наружная оболочка здания имеет высокие показатели теплозащиты и отсутствие «мостиков холода», в том числе балконы крепятся на металлических колоннах по высоте дома, и не имеют жесткой связи с каркасом дома.

Многоэтажное здание, полностью обеспечивающее свои потребности в энергии только пассивными методами – это пока редкость и в зарубежном опыте, но частично мероприятия по энергосбережению присутствуют во многих проектах, позиционирующихся как «доступное жилье».

Шестиэтажный многоквартирный дом в Женеве (бюро «Burckhardt Partner») запроектирован относительно сторон света так, что большая площадь остекления ориентирована на юг, лестницы имеют естественное освещение, а у всех квартир есть выход на систему балконов-террас, которые обычно находятся в тени друг друга. При этом планировка здания не отличается от традиционной для этой местности: ядро с коммуникациями и две квартиры по бокам.

А в датском городе Себю комплекс социального жилья «SæbyStrand» имеет низкоэмиссионное тройное остекление, ориентированное преимущественно на юго-восток, что обеспечивает максимально комфортный микроклимат в квартирах на протяжении всего года. Вместе с заложенной в конструктивную схему системой пассивного отопления это позволяет значительно снизить потребление энергии.

Доступное жилье La Valentina в Сакраменто, Калифорния, США предназначено для людей с доходом ниже среднего по местности. Не смотря на это, здание построено с учетом принципа энергоэффективности: на крыше установлены солнечные батареи, окна расположены так, чтобы солнце активно нагревало помещения, нижний этаж обрамляется панелями с проемами, через которые ночью освещается дорога вдоль здания.

Итак, в формировании рынка «доступного жилья» для снижения стоимости эксплуатационных затрат и повышения степени экологичности здания необходимо применение энергосберегающих мероприятий. Экономическая доступность и комфортность жилья достигается совокупностью мер финансовой целесообразности и технической возможности при разработке и внедрении энергоэффективных и энергосберегающих технологий [3].

Строительство энергоэффективных домов не выгодно застройщикам «эконом-класса», так как обходится дороже, соответственно, дополнительные расходы закладываются на этапе проектирования в стоимость жилья, уменьшая его «доступность». Кроме того, характерной особенностью строительной отрасли не только в России, но и в других странах является высокая степень консерватизма, а также низкий уровень инновационной деятельности [4].

В госпрограмме «Стратегия развития жилищной сферы РФ на период до 2025 года» есть задача определить понятие «стандартное жилье», заменив указанным термином термин «жилье эконом-класса», согласно рекомендациям ОЭСР и мировой практике, которое будет соответствовать единым требованиям по строительным характеристикам, экологической эф-

фактивности и стандартам отделки. В определении стандартного доступного и комфортного жилья должны быть заложены обязательные энергосберегающие решения. Наибольший экологический и экономический результат эти решения дают в комплексе. Но при условии повышения комфорта «доступного жилья» без финансового влияния на стоимость объектов, первостепенными являются пассивные архитектурно-планировочные мероприятия эффективного использования солнечной энергии. Они закладываются на начальных этапах проектирования зданий и должны предлагать несколько вариантов, из которых с учетом технической возможности и экономической целесообразности индивидуально для каждого объекта будет выбран оптимальный.

Внедрение новых технологий требует повышения квалификации проектировщиков и строителей в области энергосбережения, а также формирования базы апробированных типовых решений для объектов недвижимости на рынке «доступного жилья».

#### Библиографический список

1. Леонова Л.Б., Засухина В.С. Доступность жилья в России: анализ, проблемы и пути выхода. / Леонова Л.Б., Засухина В.С. // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика, 2016
2. Палий В.М. Проблема трактовки понятия «доступность жилья» / Палий В.М. // Финансы и кредит 26(458)-2011, 2011
3. Шарипов А. Я. Энергосбережение в программе «Доступное жилье» / Шарипов А. Я. // «Энергосбережение» №5'2008, 2008
4. Стратегия развития жилищной сферы Российской Федерации на период до 2025 года. МИНСТРОЙ России [Электронный ресурс] Режим доступ: [https://дом.рф/wp-content/uploads/2016/04/DomRF\\_brochure-3.0-Dec10.pdf](https://дом.рф/wp-content/uploads/2016/04/DomRF_brochure-3.0-Dec10.pdf)

#### References

1. Leonova L.B., Zasukhina V.S. Housing affordability in Russia: analysis, problems and ways out. / Leonova L.B., Zasukhina V.S. // Vestnik of USTU. Science, education, economics. Series: Economics, 2016
2. Paliy V. M., the problem of interpretation of the concept of “affordability of housing”/ Paliy V.M. // Finance and Credit 26(458)-2011, 2011
3. Sharipov A. Y. Energy Saving in Affordable Housing Program / Sharipov A. Y. // “Energy Saving” №5'2008, 2008
4. The development strategy of the housing sector of the Russian Federation for the period until 2025. MINSTROY Rossii [Electronic resource]. Access mode [https://дом.рф/wp-content/uploads/2016/04/DomRF\\_brochure-3.0-Dec10.pdf](https://дом.рф/wp-content/uploads/2016/04/DomRF_brochure-3.0-Dec10.pdf)

УДК 666.972.031.3/4

*Сибирский федеральный университет  
Канд. техн. наук, доцент Г.А. Кузнецов  
Россия, г. Красноярск, тел. +7(391)249-75-55  
e-mail: [gkuznecov@sfu-kras.ru](mailto:gkuznecov@sfu-kras.ru)  
Законодательное Собрание  
Красноярского края  
Заместитель председателя С.Ф. Зяблов  
Россия, г. Красноярск, тел. +7(391) 249-31-34  
e-mail: [sobranie@sobranie.info](mailto:sobranie@sobranie.info)  
Сибирский федеральный университет  
Доктор техн. наук, проф. кафедры  
«Транспортные и технологические  
машины» В.В. Минин  
Россия, г. Красноярск, тел. +7(913)047-78-04  
e-mail: [vminin@rambler.ru](mailto:vminin@rambler.ru)*

*Siberian Federal University  
Cand. tech. sciences, docent G.A. Kuznetsov  
Russia, Krasnoyarsk, tel. +7(391)249-75-55  
e-mail: [gkuznecov@sfu-kras.ru](mailto:gkuznecov@sfu-kras.ru)  
Legislative Assembly Krasnoyarsk region  
Vice-chairman S.F. Zyablov  
Russia, Krasnoyarsk, tel. +7(391) 249-31-34  
e-mail: [sobranie@sobranie.info](mailto:sobranie@sobranie.info)  
Siberian Federal University  
Doctor tech. sciences,  
prof. departments «Transport and  
technological machines» V.V. Minin  
Russia, Krasnoyarsk, tel. +7(913)047-78-04  
e-mail: [vminin@rambler.ru](mailto:vminin@rambler.ru)*

Г.А. Кузнецов, С.Ф. Зяблов, В.В. Минин

### **ЭНЕРГО-РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ БЕТОНОСМЕСИТЕЛИ**

Созданный модельный ряд гравитационных бетоносмесителей бытового назначения, имеющий 1,2-3 раза меньшие стоимостные, мощностные и массогабаритные характеристики по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами.

**Ключевые слова:** гравитационные бетоносмесители, бытовые бетоносмесители, модельный ряд, энергоэффективность, импортозамещение.

G.A. Kuznetsov, S.F. Zyablov, V.V. Minin

### **ENERGY-RESOURCE-EFFICIENT SMALL-SIZED GRAVITY CONCRETE MIXERS**

The created range of gravitational concrete mixers for domestic use, having 1.2-3 times lower cost, power and weight and size characteristics compared to domestic and foreign counterparts.

**Key words:** gravity concrete mixers, household concrete mixers, model range, energy efficiency, import substitution.

При создании модельного ряда гравитационных бетоносмесителей применена теория проектирования на основе безразмерных комплексов взаимосвязи конструктивных параметров [1]. Модули электромеханического привода взаимозаменяемы, легкоъемны, пригодны к хранению и транспортированию [2,3].

Целью данной работы является создание модельного ряда гравитационных бетоносмесителей, исходя из потребностей рынка в условиях поставленной задачи импортозамещения.

В Сибирском федеральном университете созданы три модели гравитационного бетоносмесителя. Первая модель представляет собой передвижной бетоносмеситель марки БС-60М с металлическим барабаном объемом 60 литров (рис.1). В качестве электропривода применялся двигатель напряжением 220 V, мощностью 180 Вт. Исследованиями выявлена избыточная мощность электродвигателя. В модернизированном варианте бетоносмесителя БС-60М1 применяется электродвигатель напряжением 220 V, мощностью 60 Вт. В качестве механической передачи бетоносмесителя применялся двухступенчатый редуктор.

Вторая модель представляет собой переносной облегченный бетоносмеситель БС-52П с пластмассовым барабаном объемом 52 литра (рис.2). В качестве электропривода применяется двигатель постоянного тока напряжением 12 V, мощностью 40 Вт. Двигатель установлен в корпусе червячного редуктора, с металлополимерной передачей. Испытания привода и барабана показали достаточный их ресурс.

Третья модель представляет собой переносной и опрокидываемый бетоносмеситель БС-38П с пластмассовым барабаном объемом 38 литров (рис.3). Бетоносмеситель имеет раму, выполненную в виде носилок, на консоли которой наклонно установлен привод барабана. В качестве электропривода бетоносмесителя также применяется электродвигатель напряжением 12 V, мощностью 40 Вт. Барабан установлен на выходном валу червячного редуктора.

Созданный модельный ряд гравитационных бетоносмесителей имеет следующие преимущества перед отечественными и зарубежными аналогами:

- повышенный ресурс работы в связи с применением закрытой передачи;
- меньший шум при работе;
- автономность – электропитание от аккумуляторной батареи 12V;
- электробезопасность – применение во влажных подвальных помещениях;
- транспортабельность – перевозится в багажнике легкового автомобиля;
- портативность – переносится одним человеком;
- компактность – меньшие габаритные размеры и габаритный объем;
- технологичность – возможность изготовления в виде набора деталей;
- простота конструкции – минимальное число деталей (от 8 до 28).



**Рис. 1.** Бетоносмеситель – БС-60М: объем барабана – 60 литров; масса одного замеса до 70 кг; производительность – 2 т/ч.; мощность двигателя – 180 Вт; напряжение – 220 V; масса – 22 кг; число деталей – 28



**Рис. 2.** Бетоносмеситель – БС-52П: объём барабана – 52 литра; масса одного замеса до 55 кг; производительность – 1,5 т/ч; мощность двигателя – 40 Вт; напряжение – 12 V; масса – 16 кг; число деталей – 18



**Рис. 3.** Бетоносмеситель – БС-38П: объём барабана – 38 литров; масса одного замеса до 40 кг; производительность – 1 т/ч.; мощность двигателя – 40 Вт; напряжение – 12 V; масса – 8 кг; число деталей – 8

### Заключение

Применение модульного принципа конструирования и расчета гравитационных бетоносмесителей [4] на основе безразмерных комплексов взаимосвязи конструктивных параметров позволило создать модельный ряд гравитационных бетоносмесителей, имеющих в 1,2-3 раза меньшие стоимостные, мощностные и массогабаритные характеристики по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами. Конкурентоспособные, энерго- ресурсоэффективные конструкции гравитационных бетоносмесителей бытового назначения в условиях поставленной задачи импортозамещения позволят вытеснить с рынка аналогичную продукцию из Китая, Индии, Белоруссии и других стран.

### Библиографический список

1. Минин В. В. Концепция повышения эффективности универсальных малогабаритных погрузчиков: монография / Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 304 с.

2. Кузнецов Г.А., Зяблов С.Ф., Минин В.В. Исследование типоразмеров гравитационных бетоносмесителей по объему барабана.– 2014.– № 6.– С.64-70.

3. Зяблов С.Ф., Минин В.В. Определение рациональных параметров бетоносмесителей для малогабаритных машин. Интерстроймех – 2014: Материалы международной научно-техн. конф., 9-11 сентября 2014 г., Россия. – Самара. Изд-во Самарск. гос. арх.-строит. ун-та, 2014. – 288 с., с. 55-58.

4. Зяблов С.Ф., Минин В.В. Раилко М. Ю. Методика совершенствования конструктивного исполнения бытовых малогабаритных бетоносмесителей. Материалы международной научно-техн. конф. Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях., 21–22 сентября 2017 г., Россия,– БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 345 с., с. 156-161.

#### References

1. Minin V.V. The The concept of improving the universal skid steer loaders: monograph / Krasnoyarsk: Sib. Feder. Univ., 2012 .-- 304 s.

2. Kuznetsov G.A., Zyablov S.F., Minin V.V. The study of the standard sizes of gravity concrete mixers by drum volume. - 2014.– No. 6.– P.64-70.

3. Zyablov S.F., Minin V.V. Determination of rational parameters of concrete mixers for small-sized machines. Interstroyekh - 2014: Materials of the international scientific and technical. Conf., September 9-11, 2014, Russia. - Samara. Publishing House Samarsk. state arch. University, 2014 .-- 288 p., p. 55-58.

4. Zyablov S.F., Minin V.V. Railko M. Yu. Technique for improving the design of household small-sized concrete mixers. Materials of the international scientific and technical. conf. Energy-saving technologies and equipment in the road and construction industries., September 21–22, 2017, Russia, - BSTU named after V.G. Shukhov. - Belgorod: Publishing House of BSTU, 2017 .-- 345 p., P. 156-161.

УДК 620.9:621.472

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазо-  
снабжения и нефтегазового дела*

*Д.М. Чудинов*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазо-  
снабжения и нефтегазового дела*

*Н.А. Петрикеева*

*Старший преподаватель кафедры теплога-  
зоснабжения и нефтегазового дела*

*Н.М. Попова*

*Филиал Воронежского государственного техни-  
ческого университета в г. Борисоглебске*

*Доцент кафедры теплогазоснабжения,  
отопления и вентиляции*

*А.П. Зверков*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-53-21*

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

*Voronezh State*

*Technical University*

*Ph.D. in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of  
Heat and Gas Supply and Oil and Gas Busi-  
ness D.M. Chudinov*

*Ph.D. in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of  
Heat and Gas Supply and Oil and Gas Busi-  
ness N.A. Petrikeeva*

*Senior lecturer of Dept. of Heat and Gas Sup-  
ply and Oil and Gas Business*

*N. M. Popova*

*Branch of the Voronezh state*

*Technical University in Borisoglebsk*

*Assoc. Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply,  
Heating and Ventilation*

*A.P. Zverkov*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (473)271-53-21*

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

Д.М. Чудинов, Н.А. Петрикеева, Н.М. Попова, А.П. Зверков

### **АНАЛИЗ ПОСТУПЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

Сокращение эмиссии вредных веществ в окружающую среду можно реализовать посредством альтернативных энергетических систем. Конкурентоспособные свойства подобных установок определяются в числе других факторов объемом ресурса. В публикации приводится анализ определения потенциала солнечной радиации Воронежской области.

**Ключевые слова:** вредные выбросы, потенциал солнечной радиации, проектирование альтернативных энергетических систем.

D.M. Chudinov, N.A. Petrikeeva, N.M. Popova, A.P. Zverkov

### **ANALYSIS OF SOLAR RADIATION IN THE DESIGN OF ALTERNATIVE ENERGY SYSTEMS IN THE VORONEZH REGION**

Reducing the emission of harmful substances into the environment can be realized through alternative energy systems. The competitive properties of such installations are determined among other factors by the volume of the resource. The publication provides an analysis of the determination of solar radiation potential of the Voronezh region.

**Keywords:** Harmful emissions, solar radiation potential, design of alternative energy systems.

Вопрос загрязнения окружающей среды с каждым годом становится все более актуальным. Научно-исследовательские, проектные, строительные, эксплуатационные организации разрабатывают и внедряют различные мероприятия способствующие сокращению вредных выбросов от теплоэлектрических станций, промышленных предприятий, автотранспорта и т.д. В данной работе приводится анализ расчета потенциала нетрадиционного возобновляемого источника энергии (солнечной энергии) определяющего техническую эффективность альтернативных теплогенераторов (гелиосистем).

Солнечная энергия обладает рядом специфических свойств определяющих возможность ее использования в системах энергообеспечения. Среди положительных можно отметить: повсеместность, большие суммарные запасы, экологичность; отрицательные - территориальная рассредоточенность, стохастичность.

Различают прямую, рассеянную, суммарную и отраженную солнечную энергию. Правильность расчета каждой составляющей будет определять возможность эффективного внедрения гелиосистем в Воронежской области.

Прямая солнечная радиация – часть солнечной радиации, поступающая на поверхность земли в виде пучка параллельных лучей, исходящих непосредственно от видимого диска солнца.

Рассеянная солнечная радиация – часть солнечной радиации, поступающей от всего небосвода после рассеивания атмосферными газами и аэрозолями.

Всю солнечную радиацию, приходящую к земной поверхности – прямую и рассеянную – называют суммарной радиацией.

Падая на земную поверхность, суммарная радиация в большей своей части поглощается в верхнем тонком слое почвы или в более толстом слое воды и переходит в тепло, а частично отражается (отражённая солнечная радиация). Величина отражения солнечной радиации земной поверхности зависит от характера этой поверхности. Отношение количества отраженной радиации к общему количеству радиации, падающей на данную поверхность, называется альбедо поверхности.

Интенсивность солнечной радиации на конкретный момент и в определённом месте поверхности земного шара зависит от множества факторов: широты, долготы, состояния воздуха, гидрометеорологических условий местности и времени. Существующие формулы для определения солнечной радиации не всегда дают точную оценку. Так сравнения результатов расчета суммарной солнечной радиации (г. Рига) по формуле С.И. Савинова [1] показали расхождения с фактическими данными летом 30-40%, а зимой еще больше. Поэтому нами предлагается при расчетах интенсивности потоков солнечной радиации использовать данные многолетних фактических наблюдений.

Как правило, данные по солнечной радиации, приводятся в справочниках в виде таблиц. При масштабных теплотехнических и других расчетах целесообразно использовать не таблицы, а корреляции, полученные нами на основании аппроксимации этих табличных данных, которые в дальнейшем могут быть использованы при составлении программы. Программа позволит значительно интенсифицировать процесс расчета.

Полученные зависимости представлены в табл. 1, а соответствующие им графики на рис. (для марта-сентября). Уравнения позволяют определять значения суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность при безоблачном небе для Воронежской области. Для учёта облачности значения, полученные по этим корреляциям, необходимо умножить на соответствующий поправочный коэффициент ( $\psi$ ), который приведён в табл. 2 и представляет собой отношение значения суммарной солнечной радиации при действительных условиях облачности ( $I_{\Sigma}^0$ ) к суммарной солнечной радиации при безоблачном небе ( $I_{\Sigma}^A$ ).

Таблица 1

Изменение суммарной солнечной радиации ( $Q$ ) на горизонтальную поверхность при безоблачном небе в зависимости от географической широты ( $\varphi$ ), МДж/м<sup>2</sup>

Месяц	Уравнение
Январь	$Q_{\text{январь}} = -614,08 \cdot \ln(\varphi) + 2586,09$
Февраль	$Q_{\text{февраль}} = -600,56 \cdot \ln(\varphi) + 2638,10$
Март	$Q_{\text{март}} = -0,16 \cdot \varphi^2 + 5,41 \cdot \varphi + 677,87$
Апрель	$Q_{\text{апрель}} = -364,69 \cdot \ln(\varphi) + 2108,73$
Май	$Q_{\text{май}} = -150,26 \cdot \ln(\varphi) + 1444,03$
Июнь	$Q_{\text{июнь}} = 0,00005571 \cdot \varphi^5 - 0,01486526 \cdot \varphi^4 + 1,57018502 \cdot \varphi^3 - 82,03553868 \cdot \varphi^2 + 2117,99506113 \cdot \varphi - 20707,95629264$
Июль	$Q_{\text{июль}} = 0,00163130 \cdot \varphi^4 + 0,34016927 \cdot \varphi^3 - 26,31315104 \cdot \varphi^2 + 896,02144210 \cdot \varphi - 12226,70616884$
Август	$Q_{\text{август}} = -322,42 \cdot \ln(\varphi) + 1988,98$
Сентябрь	$Q_{\text{сентябрь}} = -570,53 \cdot \ln(\varphi) + 2779,51$
Октябрь	$Q_{\text{октябрь}} = -762,80 \cdot \ln(\varphi) + 3343,38$
Ноябрь	$Q_{\text{ноябрь}} = -650,10 \cdot \ln(\varphi) + 2760,50$
Декабрь	$Q_{\text{декабрь}} = -623,75 \cdot \ln(\varphi) + 2596,38$

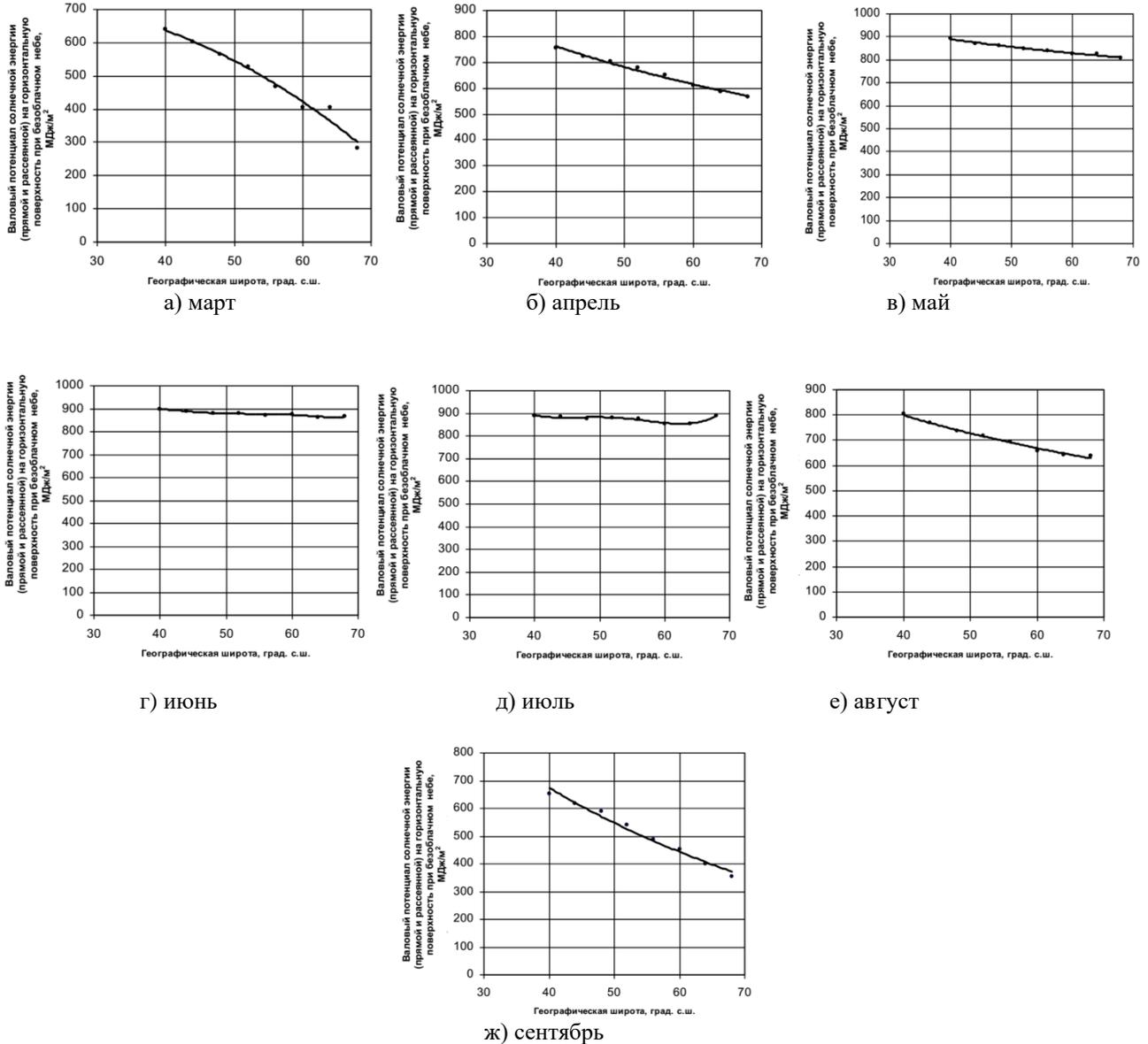
Таблица 2

Поправочный коэффициент ослабления валового потенциала солнечной энергии для Центрально-черноземного региона России

Показатели	Месяц года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Центрально-Чернозёмный регион												
г. Воронеж (Воронежская область, 51° 43' с.ш.)												
СЭ при безоблачном небе, МДж/м <sup>2</sup>	163	268	530	670	851	876	882	717	528	333	195	135
СЭ при действ. условиях облачности, МДж/м <sup>2</sup>	84	142	289	385	565	620	590	473	326	176	80	50
Коэфф. облачности $\psi$	0,52	0,53	0,55	0,57	0,66	0,71	0,67	0,66	0,62	0,53	0,41	0,37
Каменная степь (Воронежская область, 51° с.ш.)												
СЭ при безоблачном небе, МДж/м <sup>2</sup>	184	289	548	682	856	878	883	728	548	359	217	156
СЭ при действ. условиях облачности, МДж/м <sup>2</sup>	98	176	314	418	599	630	609	515	344	188	86	65
Коэфф. облачности $\psi$	0,53	0,61	0,57	0,61	0,70	0,72	0,69	0,71	0,63	0,52	0,40	0,42
г. Курск (Курская область, 51° 44' с.ш.)												
СЭ при безоблачном небе, МДж/м <sup>2</sup>	163	268	530	670	851	876	882	717	528	333	195	135
СЭ при действ. условиях облачности, МДж/м <sup>2</sup>	84	172	274	372	554	605	584	475	316	165	67	52
Коэфф. облачности $\psi$	0,52	0,64	0,52	0,56	0,65	0,69	0,66	0,66	0,60	0,50	0,34	0,38
Сред. знач. коэфф. облач.	0,52	0,59	0,54	0,58	0,67	0,70	0,67	0,68	0,61	0,52	0,38	0,40

$$\psi = \frac{I_{\Sigma}^{\text{Я}}}{I_{\Sigma}^{\text{О}}}$$

Аналогичные зависимости получены для различно ориентированных вертикальных поверхностей [3].



**Рис.** Изменение суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность при безоблачном небе в зависимости от географической широты

### Выводы

Проведен анализ поступления солнечной радиации, являющейся источником энергии в альтернативных теплогенераторах (гелиосистемах). Установлено, что существующие формулы не всегда дают точную оценку.

На основании аппроксимации статистических данных получены уравнения, позволяющие определять величину солнечной энергии в Воронежской области на горизонтальную и вертикальную поверхность при безоблачном небе.

Определены поправочные коэффициенты ослабления солнечной энергии, позволяющие учитывать облачность в Воронежской области.

#### Библиографический список

1. Бекман У. Расчет систем солнечного теплоснабжения / У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи. – М.: Энергоиздат, 1982. – 79 с.
2. Чудинов, Д.М. Использование гелиосистем в различных регионах России / Д.М. Чудинов, Т.В. Шукина // Энергосбережение. - 2009. - № 7. - С. 64-80.
3. Сотникова, О.А. Использование тепловой энергии солнца в пассивных и активных системах теплоснабжения/ О.А. Сотникова, Д.М. Чудинов // Вестник Воронежского государственного технического университета. - Том 1. - № 6. - 2005. - С. 56-63.
4. Шукина, Т.В. Комбинированные солнечные модули и надежность систем жизнеобеспечения / Т.В. Шукина, А.К. Тарханов, Д.М. Чудинов // Сантехника, отопление, кондиционирование. - 2014. - № 1 (145). - С. 82-85.
5. Сотникова, О.А. Экономическая эффективность использования солнечных систем горячего водоснабжения / О.А. Сотникова, Д.М. Чудино // АВОК. – 2007. - № 2. – С. 88-94.
6. Чудинов, Д.М. Влияние параметров оборудования гелиоустановок на эффективность альтернативного теплоснабжения зданий / Д.М. Чудинов, Т.В. Шукина, О.А. Сотникова // Промышленная энергетика. – 2008. - № 9. - С. 44-46.
7. Сотникова, О.А. Экономическое обоснование и перспективы развития солнечного теплоснабжения / О.А. Сотникова, Д.М. Чудинов, Т.В. Шукина // Промышленная энергетика. – 2008. - № 6. - С. 50-52.
8. Шукина, Т.В. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии в гелиоустановках / Т.В. Шукина, Д.М. Чудинов, Н.А. Петрикеева, Н.М. Попова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. - 2017. - № 1. - С. 118-121.

#### References

1. Beckman W. Solar heating desing / W. Beckman, S. Klein, J. Duffie. - M.: Energoizdat, 1982. - 79 pp.
2. Chudinov, D. M. Use of heliosystems in various regions of Russia / D.M. Chudinov, T.V. Schukina // Energy saving. - 2009. - № 7. - Pp. 64-80.
3. Sotnikova, O. A. The use of thermal solar energy in passive and active heating systems/ O. A. Sotnikova, D. M. Chudinov // Bulletin of Voronezh state technical University. - Volume 1. - № 6. – 2005. - Pp. 56-63.
4. Schukina, T.V. The combined solar modules and reliability of life support systems / T. V. Schukina, A.K. Tarkhanov, D.M. Chudinov // Plumber, heating, conditioning. - 2014. - №. 1 (145). – Pp. 82-85.
5. Sotnikova, O.A. Cost efficiency of use of the solar systems of hot water supply / O.A. Sotnikova, D.M. Chudino // AVOK. – 2007. - № 2. – Pp. 88-94.
6. Chudinov, D.M. Influence of parameters of the equipment of solar power plants on efficiency of alternative heat supply of buildings / D.M. Chudinov, T.V. Schukina, O.A. Sotnikova // Industrial power. – 2008. - № 9. – Pp. 44-46.
7. Sotnikova, O.A. Economic justification and prospects of development of solar heat supply / O.A. Sotnikova, D.M. Chudinov, T.V. Schukina // Industrial power. – 2008. - № 6. – Pp. 50-52.
8. Schukina T.V. The combined development of thermal and electric energy in solar power plants / T. V. Schukina, D.M. Chudinov, N.A. Petrikeeva, N.M. Popova // Scientific bulletin of the Voronezh state architectural and construction university. Series: High technologies. Ecology. - 2017. - №. 1. - Pp. 118-121.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 678.01+678.03

Ярославский государственный  
технический университет

Канд. техн. наук, доцент кафедры ХТБП

О.Ю. Соловьева

Россия, г. Ярославль, тел. +7(4852)-44-12-39

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

Ярославский государственный  
технический университет

Студент М.С. Игнатъева

Россия, г. Ярославль, тел. +7(960)542-48-60

e-mail: [mashaigns2012@ya.ru](mailto:mashaigns2012@ya.ru)

Ярославский государственный  
технический университет

Студент М.А. Гаврилов

Россия, г. Ярославль, тел. +7(905)137-76-95

e-mail: [gawrilow.mack@yandex.ru](mailto:gawrilow.mack@yandex.ru)

Ярославский государственный  
технический университет

Канд. хим. наук, профессор кафедры ХТОП

Е.А. Индейкин

Россия, г. Ярославль, тел. +7(4852)-44-14-39

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

Ярославский государственный  
технический университет

Канд. техн. наук, доцент кафедры ХТБП

А.Б. Ветошкин

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

Россия, г. Ярославль, тел. +7(4852)-44-12-39

Ярославский государственный  
технический университет

Канд. техн. наук, доцент кафедры ХТБП

С.В. Гудков

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

Россия, г. Ярославль, тел. +7(4852)-44-12-39

Yaroslavl State

Technical University

D. Sc. (Engineerin), associate professor of

ChTBP Department O.Yu. Solovyeva

Russia, Yaroslavl, tel. +7 (4852) -44-12-39

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

Yaroslavl State

Technical University

Student M.S. Ignateva

Russia, Yaroslavl, tel. +7(960)542-48-60

e-mail: [mashaigns2012@ya.ru](mailto:mashaigns2012@ya.ru)

Yaroslavl State

Technical University

Student M.A. Gavrilov

Russia, Yaroslavl, tel. +7(905)137-76-95

e-mail: [gawrilow.mack@yandex.ru](mailto:gawrilow.mack@yandex.ru)

Yaroslavl State

Technical University

D. Sc. (Chemistry) professor of Organic Coat-

ings Department E.A. Indeikin

Russia, Yaroslavl, tel. +7(4852)-44-14-39

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

Yaroslavl State

Technical University

D. Sc. (Engineerin), associate professor of

ChTBP Department A.B. Vetoshkin

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

Russia, Yaroslavl, tel. +7 (4852)-44-12-39

Yaroslavl State

Technical University

D. Sc. (Engineerin), associate professor of

ChTBP Department S.V. Gudkov

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

Russia, Yaroslavl, tel. +7 (4852)-44-12-39

О.Ю. Соловьева, М.С. Игнатъева, М.А. Гаврилов, Е.А. Индейкин,  
А.Б. Ветошкин, С.В. Гудков

### СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДА ЦИНКА В РЕЗИНОВЫХ СМЕСЯХ

Опробовано применение активатора серной вулканизации с пониженным (до 40 %) содержанием оксида цинка в рецептуре резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука. Активатор получен нанесением оксида цинка на поверхность частиц высокодисперсной коллоидной кремнекислоты. Показано, что при замене белил цинковых на опытный продукт вулканизационные характеристики смесей не ухудшаются.

**Ключевые слова:** бутадиен-нитрильный каучук, «оболочковый» активатор вулканизации, резиновая смесь, реометрические характеристики, деформационно-прочностные свойства резин.

O, Yu. Solovyeva, M.S. Ignatieva, M.A. Gavrilov, E.A. Indeikin, A.B. Vetoshkin, S.V. Gudkov

## REDUCING OF ZINC OXIDE CONTENT IN RUBBER MIXTURES

The use of the sulphur vulcanization activator with reduced (up to 40%) zinc oxide in the formulation of rubber mixtures based on butadien-nitrile rubber has been tested. The activator is obtained by applying zinc oxide to the surface of particles of high-dispersion colloidal silicic acid. It is shown that when replacing zinc whites with an experienced product, the vulcanization characteristics of mixtures do not deteriorate.

**Keywords:** butadiene-nitrile rubber, "shell" activator-vulcanization, rubber compound, rheometric characteristics, deformation-strain properties of rubbers.

Вулканизирующая группа в составе резиновых смесей обеспечивает формирование трехмерной структуры эластомерного композита на заключительной стадии его переработки в изделие – в процессе вулканизации. В случае использования серы в качестве вулканизирующего агента для повышения эффективности ее действия в состав смесей вводят органические ускорители, первичный и вторичный активаторы.

Первичными активаторами являются оксиды металлов, прежде всего, оксид цинка (технический продукт – белила цинковые). Однако широкое использование цинковых белил в рецептуре резин способствует накоплению в окружающей среде соединений цинка, оказывающих токсичное воздействие на биоорганизмы в почве и сточных водах [1]. В связи с этим в последнее время все более актуальными становятся разработки, направленные на уменьшение содержания оксида цинка в резинах, тем более что, по имеющимся данным [2], не весь продукт, водимый в общепринятых дозировках, участвует в процессах вулканизации.

Способы снижения дозировок оксида цинка могут быть различными. Одним из них является использование активаторов в составе композиций в сочетании со вспомогательными ингредиентами, повышающими активность основного активатора. Это так называемые композиционные активаторы [3, 4]. Другой пример – это получение «кernового» или «оболочкового» активатора путем нанесения слоя оксида цинка на поверхность частиц («ядра») высокодисперсного наполнителя, инертного с позиций влияния его на кинетику процесса вулканизации [5-7]. На эффективность активирующего действия оказывает влияние целый ряд факторов: содержание оксида цинка в продукте, условия синтеза последнего, определяющие топологию частиц, химическая природа каучуковой матрицы, компонентный состав резиновой смеси, прежде всего, вулканизирующей группы.

Приведенные в публикациях данные по применению «оболочковых» активаторов, в целом, указывают на их перспективность. Однако к настоящему времени испытания этих продуктов проведены в сравнительно узком ассортименте резиновых смесей, не существует однозначного мнения относительно содержания оксида цинка и условий получения активатора. Всё это, в конечном итоге, препятствует внедрению «оболочковых» активаторов в серийное производство резиновых изделий.

В связи с вышесказанным целью настоящей работы явилась получения и оценка влияния «оболочкового» оксида цинка на реометрические характеристики резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-40АМН, который широко используется при изготовлении резин, работающих в контакте с неполярными (маслом, бензином и до.) физиче-

ски агрессивными средами, в том числе при повышенных температурах, а также влияния на эти характеристики технологии получения активатора.

Наиболее экономичным методом формирования функциональной оболочки на инертном субстрате является использование механохимических процессов, то есть процессов химического взаимодействия в условиях механической активации частиц твердых взаимодействующих продуктов [8, 9].

Для проведения механохимических процессов мы использовали активацию в двух вариантах – в среде электролита («мокрая» обработка) и при условии совместной механической обработки порошкообразных материалов («сухая» обработка). «Сухая» обработка экономически выгодней, так как исключает стадии фильтрации и сушки конечного материала. Для повышения реакционной способности поверхности носителя использовались небольшие добавки сульфаниловой кислоты.

Полученные продукты вводили в резиновые смеси следующего рецептурного состава, мас. ч.: каучук БНКС-40АМН – 100,0; сера – 1,5; сульфенамид Ц – 1,5; первичный активатор – 3,0; стеарин – 1,0; технический углерод N 330 – 40,0. Резиновые смеси готовили на лабораторных вальцах 320 160/160. Температурно-временные режимы и последовательность введения компонентов во всех случаях были одинаковыми. Эталонем служила резиновая смесь с белилами цинковыми БЦО. Определение кинетики изотермической вулканизации осуществляли на виброреометре MDR-2000 в изотермическом режиме в диапазоне температур от 143 до 170 °С. Условия испытания: продолжительность 30 мин, частота колебаний 1,66 Гц, амплитуда деформации 7 % (0,5°). В качестве выходных параметров принимали к рассмотрению следующие: минимальный крутящий момент ( $M_L$ ), время начала вулканизации ( $t_{s1}$ ), время достижения 90 %-ной степени вулканизации ( $t_{90}$ ), максимальный крутящий момент ( $M_H$ ), максимум скорости изменения крутящего момента  $R_h$ .

Согласно полученным данным (таблица 1), смеси, содержащие опытный активатор, значительно отличаются от эталона по величине минимального крутящего момента  $M_L$ , коррелирующего с вязкостью по Муни. Можно отметить тенденцию к снижению  $M_L$  при использовании активатора, синтезированного в водной среде.

Условия синтеза активатора оказывают влияние и на вулканизационную способность резиновых смесей. Так, в присутствии «оболочкового» продукта, полученного в воздушной среде, вулканизационная активность смесей в основном периоде вулканизации не только не снижается, но даже несколько повышается: судя по разности ( $t_{90} - t_{s1}$ ), сокращается время от начала сшивания до достижения технологического оптимума, увеличивается максимум скорости сшивания  $R_h$ . При этом также отмечается некоторое увеличение разности между максимальным и минимальным значениями крутящего момента ( $M_H - M_L$ ), которая симбатна степени химического сшивания резины. Эти закономерности прослеживаются при всех температурах испытания. При введении «оболочкового» активатора, синтезированного в воздушной среде, наблюдается обратная тенденция.

Следует отметить, некоторое увеличение продолжительности индукционного периода вулканизации в присутствии опытных активаторов, особенно заметное в случае применения продукта, полученного в мокрой среде.

Анализ деформационно-прочностных свойств сравниваемых резин при одноосном растяжении (скорость перемещения подвижного зажима 500 мм/мин), показывает, что значимого различия между показателями не наблюдается (таблица 2). Проявляется тенденция к уменьшению условного напряжения при 100 % удлинении  $f_{100}$  и увеличению относительного удлинения при разрыве  $\varepsilon_p$ , а также относительного остаточного удлинения после разрыва  $\theta$  в случае резины, содержащей «оболочковый» активатор, синтезированный в водной среде. Причина заключается в её несколько более низкой степени химического сшивания. По условной прочности при растяжении  $f_p$  все резины практически равноценны.

Таблица 1

Влияние замены белил цинковых на «оболочковый» активатор вулканизации с 40 % ZnO на реометрические характеристики резиновых смесей на основе каучука БНКС-40 АМН

Показатель	Температура испытания, °С	Тип и содержание (мас. ч.) первичного активатора		
		Белила цинковые БЦО (3,0)	«Оболочковый» активатор (3,0), полученный	
			в воздушной среде	в водной среде
$M_L$ , дН·м	143	1,88	1,91	1,77
	155	1,67	1,69	1,56
	170	1,48	1,48	1,35
$(M_H - M_L)$ , дН·м	143	15,20	15,75	14,51
	155	15,93	16,65	15,59
	170	15,76	16,48	15,48
$t_{S1}$ , мин	143	5,36	5,58	6,04
	155	2,63	2,77	2,98
	170	1,19	1,26	1,38
$(t_{90} - t_{S1})$ , мин	143	11,07	11,05	12,55
	155	8,28	8,16	10,59
	170	3,99	3,92	5,28
$R_h$ , дН·м/мин	143	4,24	4,40	3,93
	155	7,96	8,08	7,10
	170	15,37	15,43	12,64

Таблица 2

Влияние замены белил цинковых на «оболочковый» активатор вулканизации с 40 % ZnO на деформационно-прочностные свойства резин на основе каучука БНКС-40 АМН

Показатель	Тип и содержание (мас. ч.) первичного активатора		
	Белила цинковые БЦО (3,0)	«Оболочковый» активатор (3,0), полученный	
		в воздушной среде	в водной среде
$f_{100}$ , МПа	5,1	5,2	4,9
$f_p$ , МПа	25,5	25,7	25,9
$\varepsilon_p$ , %	360	350	380
$\theta$ , %	6,8	6,4	7,2

### Выводы

1. Установлено, что при замене белил цинковых на «оболочковый» активатор вулканизации с пониженным до 40 % содержанием оксида цинка не происходит заметного изменения реометрических, в том числе вулканизационных, характеристик резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-40АМН.
2. Показано, что более предпочтительным из двух опробованных вариантов является «оболочковый» активатор, синтезированный в водной среде.
3. Результаты, полученные в работе, указывают на целесообразность проведения расширенных испытаний новых активаторов в резиновых смесях на основе бутадиен-нитрильных каучуков.

## Библиографический список

1. Cho W. Progressive severe lung injury by zinc oxide nanoparticles; the role of Zn<sup>2+</sup> dissolution inside lysosomes. *Particle and Fibre Toxicology*, 2011.
2. Мухутдинов А.А. Экологические аспекты модификации ингредиентов и технологии производства шин. Казань: «Фэн», 1999, 400 с.
3. Карманова О.В., Шутилин Ю.Ф., Пименова Ю.А. Особенности сшивания каучуков в присутствии композиционных активаторов вулканизации. Минск: БГТУ, 2013, 121-125 с.
4. Каюшников С.Н., Прокопчук Н.Р. Технологические свойства шинных резиновых смесей с композиционным активатором. *Материалы. Технологии. Инструменты*, Том 19, № 3, 2014, 66-70 с.
5. Гришин П.В., Катнов В.Е., Степин Г.С. Газофазный синтез композитных частиц со структурой ядро – оболочка на основе оксидов кремния (IV) и цинка. *Вестник технологического университета*, Том 19, № 14, 2016, 56-59 с.
6. Прокопчук Н.Р., Каюшников С.Н., Вишневецкий К.В. Технологически активные добавки в составе эластомерных композиций. *Полимерные материалы и технологии*, Том 2, № 3, 2016, 6-23 с.
7. Судзиловская Т.Н., Индейкин Е.А., Захаров Н.Д., Емельянов Д.П., Воронов В.М. Активатор вулканизации и способ его получения. № 994491 СССР, Бюлл. 1983, № 5, 1980
10. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск, «Наука», 1989, 306 с.
11. Молчанов В.И., Селезнёва О.Г., Жирнов Е.Н. Активация минералов при измельчении. М., «Недра», 1988, 208 с.

## References

1. Cho W. Progressive severe lung injury by zinc oxide nanoparticles; the role of Zn<sup>2+</sup> dissolution inside lysosomes. *Particle and Fibre Toxicology*, 2011.
2. Mukhutdinov A.A. Environmental aspects of ingredient modification and tyre manufacturing technology. Kazan, "Fen", 1999, 400 sec.
3. Karmanova O.V., Shutilin Y.F., Pimenova Y.A. Features of rubbers networking in the presence of composite activators of vulcanization. Minsk, BGTU, 2013, 121-125 sec.
4. Kayushnikov S.N., Prokopchuk N.R. Technological properties of tire rubber mixtures with compositional activator. *Materials. Technology. Tools*, Vol. 19, N 3, 2014, 66-70 sec.
5. Grishin P.V., Katnov V.E., Stepin G.S. Gas phase synthesis of composite particles with the structure of the nucleus - a shell based on silicon oxides (IV) and zinc. *Herald of the University of Technology*, Vol. 19, N 14, 2016, 56-59 sec.
6. Prokopchuk N.R., Kayushnikov S.N., Wisniewski K.V. Technologically active additives in the composition of elastomer compositions. *Polymer based materials and technologies*, Vol. 2, N 3, 2016, 6-23 sec.
7. T.N. Sudzilovskaya, E.A. Indeikin, N.D. Zakharov, D.P. Emelyanov, V.M. Voronov Vulcanization activator and the way it is received. Copyright No.994491 USSR., 1980, Bull. 1983.
8. Avvakumov E.G. Mechanical methods of activation of chemical processes. Novosibirsk, Science, 1989, 306 sec.
9. Molchanov V.I., Selezneva O.G., Yirnov E.N. Activation of minerals in grinding. M., Nedra, 1988, 208 sec.

УДК: 691.3:698:003.13

*Воронежский государственный  
технический университет  
Студент гр. мСМ181 кафедры технологии  
строительных материалов, изделий и  
конструкций О.А. Тарасенко  
e-mail: Olka190796@yandex.ru  
Студент гр. мСМ181 кафедры  
технологии строительных материалов,  
изделий и конструкций Л.С. Маркова  
e-mail: [lilyamarkova-126@mail.ru](mailto:lilyamarkova-126@mail.ru)  
Канд. техн. наук, доцент кафедры  
технологии строительных материалов, изде-  
лий и конструкций А.Е. Турченко  
Россия, г Воронеж, тел 8(373)2-71-52-35  
e-mail: [allaevgen@mail.ru](mailto:allaevgen@mail.ru)*

*Voronezh State  
Technical University  
PhD student mSM181 of Department materials  
and technology of building materials and con-  
struction O.A. Tarasenko  
e-mail: Olka190796@yandex.ru  
PhD student mSM181 of Department materials  
and technology of building materials and con-  
struction L.S. Markova  
e-mail: [lilyamarkova-126@mail.ru](mailto:lilyamarkova-126@mail.ru)  
D.Sc. in Engineering, Assoc. Prof. of Department  
materials and technology of building materials  
and construction A.E. Turchenko  
Russia, g Voronezh, ph.+ 7 (473)2- 71-53-35  
e-mail: [allaevgen@mail.ru](mailto:allaevgen@mail.ru)*

О.А. Тарасенко, Л.С. Маркова, А.Е. Турченко

#### **АНАЛИЗ СТЕНОВЫХ ОБЛИЦОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ПО КРИТЕРИЯМ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ**

В статье выполнен анализ критериев популярных строительных материалов для внутренней и внешней отделки общественных зданий. Приведены их основные потребительские свойства. Показано, что ресурсоэффективными материалами являются, сочетающие внешнюю привлекательность, доступную «цену потребления», экологичность.

**Ключевые слова:** строительные облицовочные стеновые материалы, общественные здания, ресурсоэффективность, экологичность.

О.А. Tarasenko, L.S. Markova, A.E. Turchenko

#### **ANALYSIS OF WALL FACING MATERIALS FOR PUBLIC BUILDINGS ACCORDING TO THE CRITERIA RESOURCE EFFICIENCY**

The article analyzes the criteria popular building materials for interior and exterior decoration of public buildings. Their main consumer properties are given. It is established that resource-efficient materials are those that combine external attractiveness, affordable "consumption price", and environmental friendliness.

**Key words:** construction facing wall materials, public buildings, resource efficiency, environmental friendliness.

Отделочные материалы играют важную роль при создании комфортной городской среды, особенно это проявляется во внешнем и внутреннем виде общественных зданий [1].

Сегодня расширение номенклатура отделочных материалов в России способствует индустриализации строительства зданий, уменьшению трудоемкости работ и снижению их стоимости при одновременном улучшении технологических, эксплуатационных и эстетических качеств [2]. При этом выбор ресурсоэффективных материалов среди взаимозаменяемых весьма сложен так как определяется комплексом показателей [3].

Конкурируют строительные материалы по показателям затрат на получение требуемых функциональных свойств, цене и уровню качества [3]. Стоимость материала среди них не является определяющим фактором, большее внимание уделяется его доступности, долговечности, дизайну, экологичности [4, 5].

При оценке экологичности материалов рассматривают следующие показатели [6]:

- отсутствие в материале опасных ядовитых веществ, радиоактивных частиц и вредных микроорганизмов;
- энергетические затраты при производстве строительного материала;
- долговечность материала, его способность противостоять разрушению под воздействием различных внешних факторов, микроорганизмов;
- возможность повторного использования материала после утилизации строения.

Цель работы - провести анализ ресурсоэффективности облицовочных строительных материалов, для внутренней и внешней отделки стен общественных зданий.

В соответствии с нормативными документами [7], облицовочные материалы для внешней отделки общественных зданий, должны быть выполнены из материалов, обладающих стойкостью к возможным воздействиям влаги, низких и высоких температур, агрессивной среды и других неблагоприятных факторов.

Особенностью выбора отделочных материалов для фасада, является учет следующих факторов:

- природно-климатических условий района строительства;
- конструкция стен;
- вид и качество местных строительных отделочных материалов;
- художественных традиций.

Исходя из рассмотренных требований, наиболее популярными облицовочными материалами для отделки фасада являются: композитные фасадные панели, керамическая фасадная плитка, штукатурный раствор, клинкерная плитка.

В таблице 1 приводятся основные критерии выбора этих материалов для внешней отделки общественных зданий.

Таблица 1

Свойства конкурентных преимуществ материалов для внешней облицовки зданий

Наименование критерия	Вид изделия			
	Композитные фасадные панели	Фасадная керамическая плитка	Штукатурный раствор	Клинкерная плитка
Водопоглощение, %	не более 0,5	не менее 2 не более: 9 (цоколя), 12 (стен)	--	не более 6,0
Морозостойкость, цикл	75	40-50	25	40
Цена руб./ м <sup>2</sup>	от 1150	от 1400	от 500	от 800
Затраты на монтаж, руб./ м <sup>2</sup>	1600	2000	350	1500
Срок службы, год	40-50	45-65	25	45

Для внутренней отделки рекомендуется применять покрытия, обладающие повышенными гигиеническими свойствами, а также соответствующие требованиям пожарной безопасности [7] на комфортные условия в месте его применения [6].

Для внутренней отделки помещений общественного назначения распространение получили следующие материалы: обои стеклотканевые; декоративные стеновые панели, в том числе ПВХ панели; лакокрасочные материалы: краски масляные и алкидные, краски вододисперсионные для внутренних работ; облицовочную керамическую плитку.

В таблице 2 приведены основные критерии выбора строительных материалов для внутренней отделки стен общественных зданий.

Таблица 2

Свойства конкурентных преимуществ облицовочных материалов для внутренних работ

Наименование критерия	Наименование материала			
	Обои стеклотканевые	ПВХ панели	Лакокрасочные материалы: краски масляные, алкидные; вододисперсионные	Облицовочная керамическая плитка
Огнестойкость, сек.	Трудновоспламеняемый, слабогорючие > 4 мин	Легковоспламеняемые, сильногорючие < 0,5 мин. При взаимодействии с огнем выделяют токсины вредные для человека.	Легковоспламеняемые, и сильногорючие < 0,5 мин. При взаимодействии с огнем выделяют токсины вредные для человека.	Трудновоспламеняемый, слабогорючие > 4 мин
Санитарно-гигиенические характеристики	Простота в уборке помещения; Противостоят образованию плесени и грибка.	Поддаются обработке моющими средствами и химическими веществами.	Доступность поверхности для частого мытья.	Поддаются обработке моющими средствами, химическими веществами, дезинфицирующими средствами. Экологичный материал;
Цена изделия, руб./ м <sup>2</sup>	от 70	от 250	от 200	от 500
Затраты на монтаж, руб./ м <sup>2</sup>	200	350	100	от 700
Срок службы, год.	25-30	40-50	до 6	45-65

На основании сравнения показателей по выделенным критериям, ресурсоэффективными материалами являются - сочетающие внешнюю привлекательность, доступную «цену потребления» [3], экологичность [6].

Эффективное применение отделочных материалов позволит создать благоприятную городскую среду с учетом международных архитектурных тенденций [5].

### Выводы

1. На основании выявленных критериев ресурсоэффективности, проведен анализ наиболее популярных отделочных материалов для внешних и внутренних работ общественных зданий.

2. Установлено, что ресурсоэффективными для общественных зданий являются облицовочные материалы с длительным сроком службы, доступной «ценой потребления», не горючие, отличающиеся хорошими гигиеническими свойствами и экологичностью.

3. Керамическая плитка является многофункциональным материалом, применяемый как для внутренней, так и для внешней отделки стен зданий, соответствует указанным требованиям.

## Библиографический список

1. Банаева А.С. Основные направления развития архитектуры современных общественных зданий в России. / А.С. Банаева // Архитектура, градостроительство зданий. 2020 №1 (23). С. 37-45.
2. Спирина В.С. Новые отделочные материалы в жилищном строительстве XXI века. / В.С. Спирина // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 1-2. С. 153-154.
3. Акулова И.И. Оценка конкурентоспособности строительных изделий и конструкций с учетом «цены потребления». / И.И. Акулова // В сборнике: International Conference on Advanced Research in Business, Economics, Law and Social Sciences Conference Proceedings. 2017. С. 93-99.
4. Турченко А.Е. Исследование тенденций рынка отделочных материалов для пола. /А.Е. Турченко, С.Ю. Ильинская // Тенденции развития науки и образования.- 2016.- №14 С.15-18/
5. Davydova T.E. Social and technological aspects of building materials production in the concept of a smart city. / T.E. Davydova, A.E. Turchenko, A.M. Usachev // 2020 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 775 012110 DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012110
6. Черняева И.В. Вопросы экологической безопасности современных строительных и отделочных материалов. / И.В. Черняева // В сборнике: Безопасный комфортный город. Сборник трудов по материалам III Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 292-287.
7. Свод правил СП 118.13330.2012\* "Общественные здания и сооружения" Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 29 декабря 2011 г. N 635/10). Дата введения - 1 сентября 2014. - 68 с.

## References

1. Banaeva A.S. Main directions of architecture development of modern public buildings in Russia. / A.S. Banaeva // Architecture, urban planning of buildings. 2020 #1 (23). Pp. 37-45.
2. Spirina V. S. New finishing materials in housing construction of the XXI century/ V.S. Spirina // actual problems of Humanities and natural Sciences. 2016. no. 1-2. Pp. 153-154.
3. Akulova I. I. Evaluation of the competitiveness of construction products and constructions with the "price of consumption". / I.I. Akulova // In: International Conference on Advanced Research in Business, Economics, Law and Social Sciences Conference Proceedings. 2017. Pp. 93-99.
4. Turchenko A. E. Research of trends in the market of finishing materials for furniture / A.E. Turchenko, S.Yu. Ilinskaya // Trends in the development of science and education. 2016. - №14 Pp. 15-18.
5. Davydova T.E. (2020). Social and technological aspects of building materials production in the concept of a smart city. / T.E. Davydova, A.E. Turchenko, A.M. Usachev // 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. and Eng. 775 012110 DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012110
6. Chernyaeva I. V. Issues of environmental safety of modern construction and finishing materials./ I.V. Chernyaeva // In the collection: Safe and comfortable city. Collection of works on the materials of the III all-Russian scientific and practical conference. 2019. Pp. 292-287.
7. Set of rules SP 118.13330.2012\* "Public buildings and structures" Updated version of SNiP 31-06-2009 (approved by the order of the Ministry of regional development of the Russian Federation of December 29, 2011 N 635/10). Date of introduction-September 1, 2014. -68 p.

УДК 625.7

*Воронежский государственный  
технический университет  
магистр, кафедры строительства и эксплуата-  
ции автомобильных дорог  
А.Д. Чудайкин  
e-mail: [a.chudaykin777@mail.ru](mailto:a.chudaykin777@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 University of Architecture and  
Civil Engineering  
PhD student of Pulpit construction and usages  
of the car roads  
A.D. Chudaikin  
e-mail: [a.chudaykin777@mail.ru](mailto:a.chudaykin777@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.Д. Чудайкин, А.С. Строкин

### **ПОРИСТЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ СМЕСИ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

Использование технологии гранулирования дает хорошие результаты с позиции простоты транспортировки мелкодисперсных материалов. Для приготовления гранулированного асфальтобетона из смесей необходим комплексный подход и контроль качества материала, иначе управлять процессом формирования структуры материала будет невозможно. Гранулированный асфальтобетон имеет более рациональную поровую структуру и упаковку зерен, для любого зернового состава, по сравнению с традиционным асфальтобетоном.

**Ключевые слова:** асфальтобетон, горячий, пористый, гранулирования, структура материала, технология, уплотнение.

A.D. Chudaikin, A.S. Strokin

### **POROUS ASPHALT CONCRETE MIXES WITH IMPROVED TECHNOLOGICAL PROPERTIES**

The use of granulation technology gives good results in terms of ease of transportation of fine materials. For the preparation of granulated asphalt concrete from mixtures, a comprehensive approach and quality control of the material is necessary, otherwise it will be impossible to control the process of forming the material structure. Granulated asphalt concrete has a more rational pore structure and grain packaging, for any grain composition, compared to traditional asphalt concrete.

**Keywords:** asphalt, hot, porous, granulation, the structure of the material, the technology, the seal.

Верхний слой покрытия (слой износа) обеспечивает ровную поверхность движения с высоким сцеплением, которая устойчива к воздействию погодных условий и износу. Именно он обеспечивает безопасность и комфортность перемещения по дороге. Вместе с другими слоями дорожной одежды он помогает распределить нагрузку от транспортных средств с це-

лью предотвращения чрезмерных перегрузок дорожной конструкции в целом. Нижний слой покрытия выполняет ту же функцию распределения нагрузки и обеспечивает ровную несущую поверхность для верхнего слоя покрытия.

Поэтому были проведены исследования по разработке новой технологии приготовления асфальтобетона на АБЗ с последующей укладкой его в нижний слой покрытия автодороги.

В процессе работы над технологией приготовления, которая включает в себя целенаправленное формирование структуры асфальтобетона как материала, была разработана лабораторная модель нового оборудования. Принятое технологическое решение позволяло значительно повысить качество асфальтобетона и целенаправленно формировать его свойства, путем изменения технологической цепи приготовления материала [1, 2].

Приготовлены и исследованы физико-механические свойства пористой асфальтобетонной смеси 1 марки [1-4]. Все приготовленные образцы испытывали в соответствии с действующей нормативной базой.

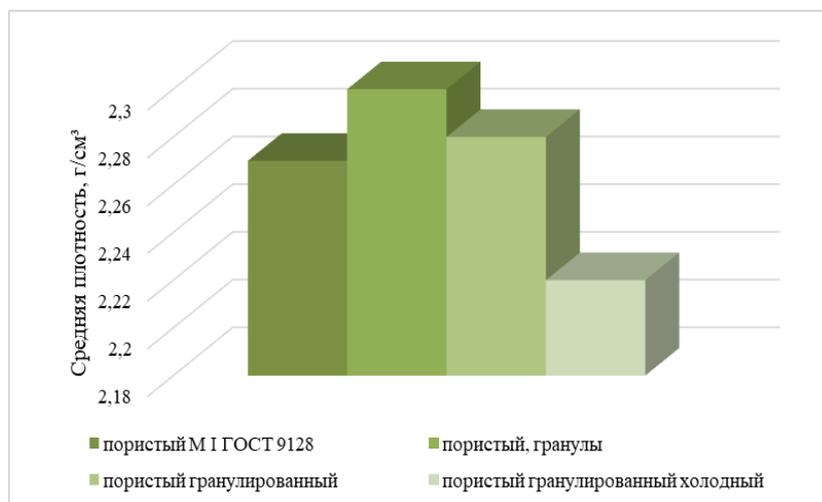
В результате проведенных исследований было выявлено следующее: средняя плотность гранулированных асфальтобетонов из горячей пористой смеси равна  $2,30 \text{ г/см}^3$ . Данный показатель у стандартных образцов из асфальтобетона пористого равен  $2,27 \text{ г/см}^3$ .

Наглядное расхождение в диаграммах указывает на преимущество новой технологии в области уплотнения. Поэтому можно предположить, что использование показателя средней плотности гранулированного асфальтобетона, а не стандартных образцов, при определении коэффициента уплотнения даст более достоверные данные.

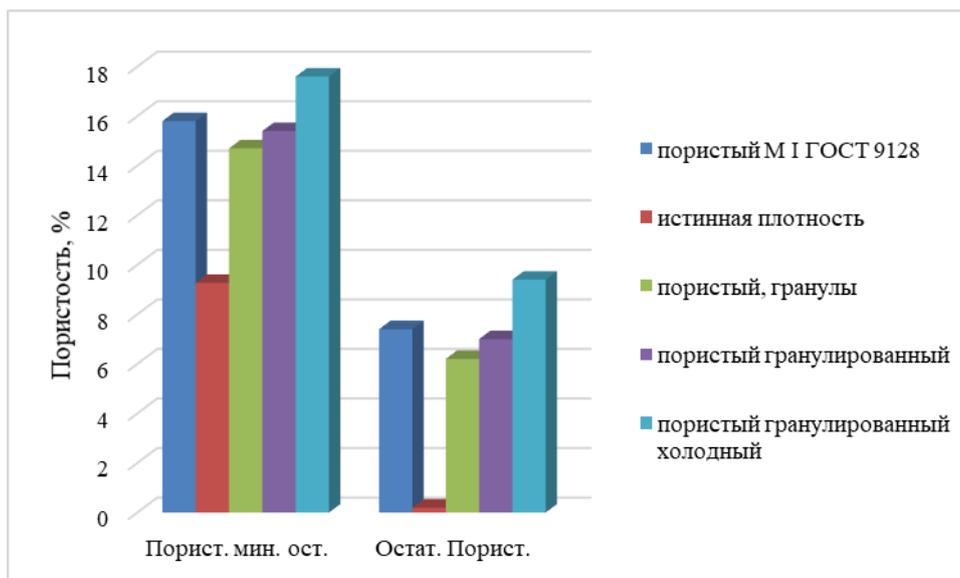
Результаты, представленные на рисунках 1 и 2 позволили оценить поровую структуру сопоставляемых материалов.

Рисунок 3 показывает, что новая технология позволяет снизить величину водонасыщения пористого на 28%, что подтверждает иной вид структуры гранулированного материала по сравнению с классическим.

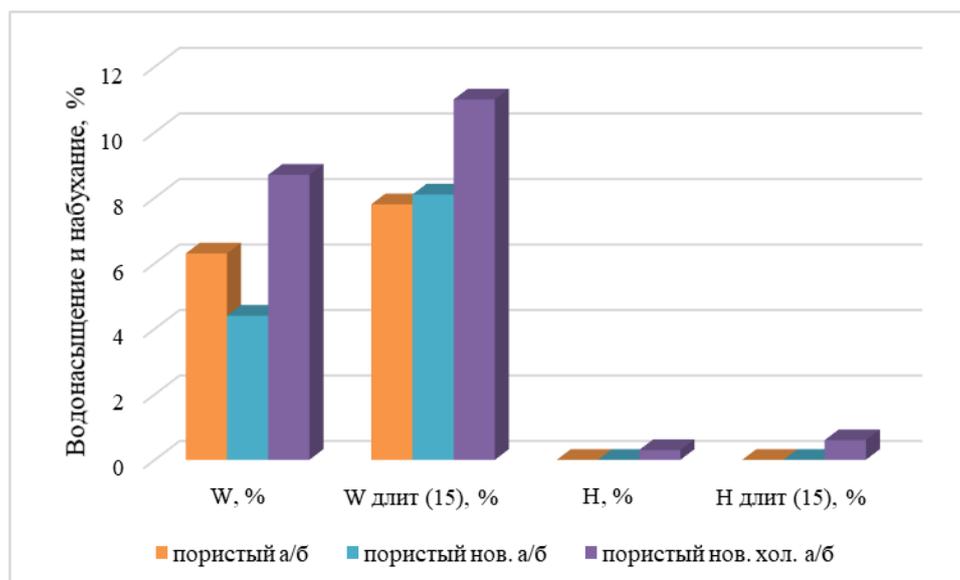
Величина показателя длительного водонасыщения плотного гранулированного асфальтобетона тоже снизилась на 43%, что говорит о стабильной структуре материала.



**Рис. 1** Влияние технологии приготовления пористого асфальтобетона на его среднюю плотность



**Рис. 2.** Влияние способа приготовления пористого асфальтобетона на его поровую структуру



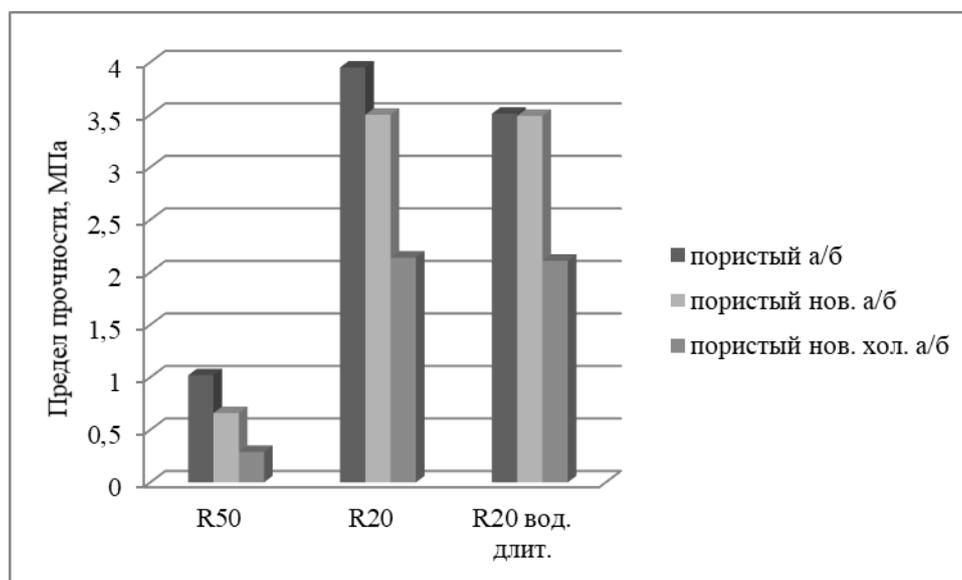
**Рис. 3.** Влияние технологии приготовления пористого асфальтобетона на величины водонасыщения и набухания

Показатель пористого гранулированного асфальтобетона достиг уровня стандартного материала, что констатирует временное наличие замкнутых пор.

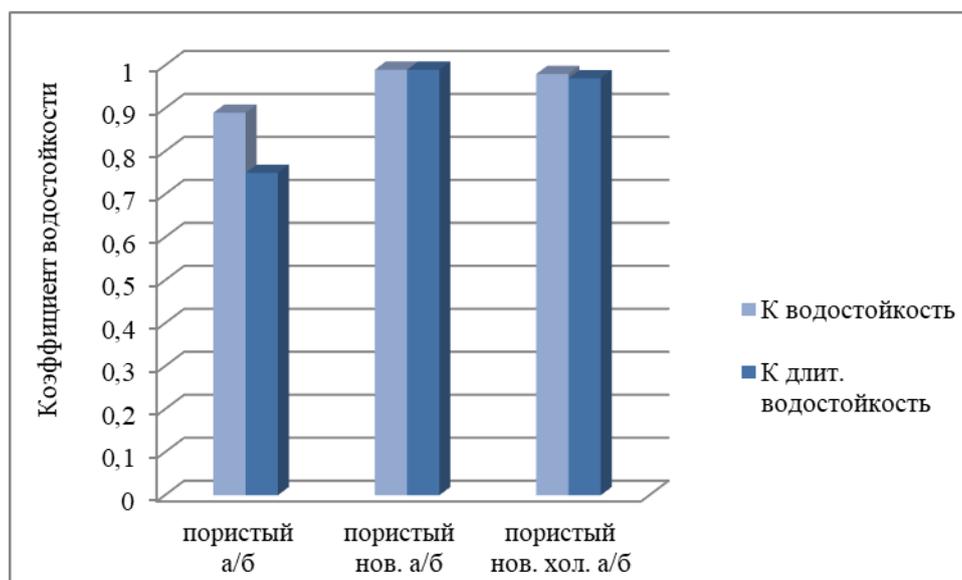
На примере пористого гранулированного асфальтобетона выявлено, что сформирована иная поровая структура, но она не способна длительно препятствовать деструктивному действию воды и поэтому материал переходит в разряд стандартного по данному показателю.

Использование разных технологий формирования структуры асфальтобетона из одного исходного зернового состава привело в итоге к значительному расхождению в результатах (рис. 1 - 3). Такой разброс в результатах подчеркивает возможную величину ошибки при определении стандартных показателей (например - по показателю водонасыщения - от 28% до 43%), что находятся на границе пределов допусков теории вероятности (45%). Все это демонстрирует сложность и незавершенность процесса формирования структуры асфальтобетона существующими техническими методами.

Рисунок 4 показывает повышенную стабильность свойств пористого асфальтобетона, приготовленного по технологии гранулирования, по показателю предела прочности при сжатии в сравнении с традиционным материалом.



**Рис. 4.** Влияние технологии приготовления пористого асфальтобетона на предел прочности при сжатии



**Рис. 5.** Влияние технологии приготовления пористого асфальтобетона на коэффициент водостойкости материала

Из рисунка 5 видно, что предложенная технология позволяет повысить коэффициенты водостойкости пористого на 11%. А коэффициент длительной водостойкости увеличился у пористого на 31%.

Приведенные результаты отражают только частично преимущества получаемого асфальтобетона.

Главное отличие гранулированного асфальтобетона, от традиционной асфальтобетонной смеси это то, что уже на АБЗ он является готовым товарным материалом. Приведенная выше

экспериментальная часть работы показала, что на АБЗ возможно приготавливать материал с конкретными свойствами и лучшей технологической подготовкой для последующей укладки.

Завершенность процесса формирования структуры материала на АБЗ решает перечисленные ранее проблемы и открывает ряд перспективных направлений в области строительства в целом и особенно контроля качества на каждом этапе строительства, в частности. Данное технологическое решение позволяет разделить технологический контроль приготовления материала и контроль при устройстве конструктивного слоя.

Новый материал - гранулированный асфальтобетон, по зерновому составу может быть любого типа и отвечать требованиям ГОСТ 9128-2013. Однако, по гранулометрическому составу предлагаемый материал может быть более рациональным, что требует работы в данном направлении [4-8].

Гранулированный асфальтобетон имеет более рациональную поровую структуру и упаковку зерен, для любого зернового состава, по сравнению с традиционным асфальтобетоном, что повышает его качество при снижении расхода вяжущего.

Он является горячим асфальтобетоном, который при необходимости можно складировать и использовать по холодной технологии, что упрощает его транспортировку и продляет строительный сезон. При этом гранулированный холодный асфальтобетон значительно превосходит традиционный холодный асфальтобетон по физико-механическим свойствам [1-8].

#### Выводы

1. Возможно приготавливать пористый асфальтобетон с конкретными свойствами и усовершенствованной технологией.

2. Данный горячий асфальтобетон возможно складировать без изменения технологии. Он пригоден для ремонта и соответственно возможно транспортировать на большое расстояние. Есть возможность круглогодично проводить ремонтные работы при определенных усовершенствованиях.

3. Увеличение срока службы асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог на 10%. Гранулированный асфальтобетон имеет более рациональную поровую структуру, которая позволяет снизить расход вяжущего на 5-15%;

#### Библиографический список

1. Гезенцев Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. - М.: Изд-во по строительству, 1971. - 255 с.

2. Готовцев В.М., Шатунов А.Г., Румянцев А.Н., Сухов В.Д. Технология получения структурированного асфальтобетона // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9-4. – С. 899-903;

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. Чудайкин А.Д., Каркасный асфальтобетон с повышенными деформативно-прочностными характеристиками. / Строкин А.С., Поляков Р.С. / Научный журнал высокие технологии в строительном комплексе. – 2018. - № 2. - С. 100-106

5. Колбановская А. С. Дорожные битумы / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. — М.: Транспорт, 1973. — 246 с.

6. Руденский А.В. Дифференцирование требований к прочности и деформативности асфальтобетона для различных условий применения при строительстве покрытий: автореф. дисс... д-ра техн. наук. – Томск, 2000. - 35 с.

7. Зайцев А.И., Пуговишников П.С., Готовцев В.М., Петерсон С.А. Разработка технологии производства асфальтобетона на основе гранулированного асфальтовяжущего // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 2. – С. 68-70;

8. 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.

#### References

1. Gezentsvey, L. B. Asphalt concrete made of activated mineral materials. - M.: Publishing house construction, 1971. - 255 p.

2. Gotovtsev V. M., Shatunov A. G., Rumyantsev A. N., Sukhov, V. D. Technology producing a structured asphalt // Fundamental research. - 2012. - № 9-4. - P. 899-903;

3. Kalvin Y. I. advanced technologies of construction and repair of road surfaces with the use of modified bitumen / Yu Kargin, A. S. Strokin, E. B. Bales. – Voronezh: JSC Voronezh regional printing press, 2014, 224 p.

4. Chudaikin A.D., Frame asphalt concrete with increased deformation and strength characteristics. / Strokin A. S., Polyakov R. S. / Scientific journal high technologies in the construction complex. - 2018. - № 2. - Pp. 100-106

5. Kolmanovsky S. A. bitumen / A. S. Kolmanovsky, V. V. Mikhailov. — M.: Transport, 1973. — 246 p.

6. Rudensky A. V. Differentiation of requirements for strength and deformation of asphalt concrete under various conditions for use in construction coatings: author. Diss... d-RA tekhn. Sciences. – Tomsk, 2000. – 35.

7. Zaitsev A. I., Pugovishnikov P. C., Gotovtsev V. M., Peterson, S. A. Development of technology of production of asphalt concrete based on granular asphalt binder // Fundamental research. - 2006. - № 2. - P. 68-70.

8. Rudensky, A. B. Road asphalt pavement on modified bitumen. /V. A. Rudensky, Yu Calvin; Voronezh. GOS. Architect.-builds. Univ – Voronezh, 2009. – 143 p.

# **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА**

УДК 625.8

*Воронежский государственный  
технический университет  
Студентк группы Б-СТР 182  
Волокитина А.В  
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (904) 212-18-21  
e-mail: nasya.v@mail.ru  
студент группы САС -161 Волков И.Н.  
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (908) 141-26-12  
e-mail: adnin4voronezh@bk.ru*

*Voronezh State  
Technical University  
Student of the group B-STR 182  
Volokitina A.V.  
Russia, Voronezh, tel. 7 (904) 212-18-21  
e-mail: nasya.v@mail.ru  
Student of group SAS 161 Volkov I.N.  
Russia, Voronezh, tel. +7 (908) 141-26-12  
e-mail: adnin4voronezh@bk.ru*

А.В. Волокитина, И.Н. Волков

## **КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДОМЕННОГО ШЛАКА В КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЯХ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ**

Обосновано применение металлургических шлаков в качестве минерального заполнителя в конструктивных слоях нежестких дорожных одежд. Произведена оценка влияния процентного содержания битума в шлаковой асфальтобетонной смеси.

**Ключевые слова:** шлак, асфальтобетон, покрытие, битум, физико-механические свойства.

A.V. Volokitina, I.N. Volkov

## **COMPLEX APPLICATION OF BLAST FURNACE SLAG IN STRUCTURAL LAYERS OF ROAD CLOTHES**

The use of metallurgical slags as mineral aggregate in structural layers of non-rigid road garments is justified. The impact of the percentage of bitumen content in the slag asphalt concrete mixture was estimated.

**Keywords:** slag, asphalt concrete, coating, bitumen, physical and mechanical properties.

Важным направлением научных исследований является изучение возможности использования местных материалов Центрального Черноземья при строительстве автомобильных дорог. К местным материалам относятся и металлургические шлаки.

Из всех разновидностей шлаков черной и цветной металлургии наиболее характерными представителями являются доменные шлаки. На их основе получают различные по структуре и свойствам материалы [1], и они в меньшей степени подвержены различным видам распада. Отмечено, что решающую роль в процессе кристаллизации играет скорость охлаждения шлакового расплава, которая определяет химическую, гидравлическую активность материала, его физико - механические свойства, структуру и минералогический состав, а также особенности взаимодействия с битумом в асфальтобетоне [2].

Сотрудниками кафедры проектирования автомобильных дорог и мостов ВГТУ была установлена возможность использования металлургических шлаковых материалов [3] Новолипецкого металлургического комбината НЛМК и Тульского металлургического комбината Тулачермет в конструктивных слоях дорожной одежды (рис.1).



**Рис. 1.** Шлаковый щебень фракции 5-20

В целом, взаимодействие битума со шлаковыми заполнителями приводит к реализации физических, механических, химических, электростатических и диффузионных процессов, в итоге адгезионные связи на границе битум – минеральный материал становится более прочными и устойчивыми к воздействию окружающей среды, как в момент объединения, так и с течением времени [3].

Несмотря на вышеперечисленные положительные свойства доменных шлаковых материалов, они нашли ограничение для применения в асфальтобетоне из-за своей неоднородности по прочностным показателям для отвального шлакового щебня и низкой прочности исходного материала для шлакопемзового песка и гранулированного шлака.

Свойства шлаковых асфальтобетонов определяются видом шлакового материала, его структурой, пористостью и особенно характером взаимодействия с битумом. При этом, сохраняются закономерности, присущие асфальтобетонам на традиционных материалах.

Кафедрой проектирования автомобильных дорог и мостов ВГТУ были разработаны рецептуры шлаковых асфальтобетонов различной плотности, с различным содержанием шлакового материала и битума. Например, в составе минеральной части горячей высокоплотной смеси ВП предусматривалось применение: металлургического доменного шлакового щебня Новолипецкого металлургического комбината фр. 5-20 мм - 60%; металлургического доменного шлакового песка фр. 0-5 мм – 26%; неактивированного минерального порошка МП-1 – 14%. В качестве вяжущего применен битум БНД 60/90 в количестве 5%, 6%, 7%.

На основании анализа полученных результатов испытания, можно проследить изменение физико-механических в зависимости от содержания битума в смеси (рис.2.).

Наилучшим сцеплением с битумом обладают шлаки относительно плотные с микропористым сложением кристаллической структуры и каверзно - ноздреватые. То есть, учитывая эту закономерность, расход битума при приготовлении асфальтобетона с использованием шлакового щебня будет возрастать с увеличением открытой пористости. Так же, отмечается влияние пористости шлакового щебня на его прочность. При увеличении пористости, существенно уменьшается прочность щебня. Наибольшей прочностью обладают шлаки плотного строения. Однако, учитывая неоднородность шлакового щебня в одной пробе, его пригодность к приготовлению асфальтобетона определяется соотношением в смеси плотных, пористых и пемзоподобных разностей [3].

Таким образом, неоднородность по прочности, пористости и высокая химическая активность по отношению к воде и битуму шлакового заполнителя предопределяет физико-механические свойства и процессы структурообразования.

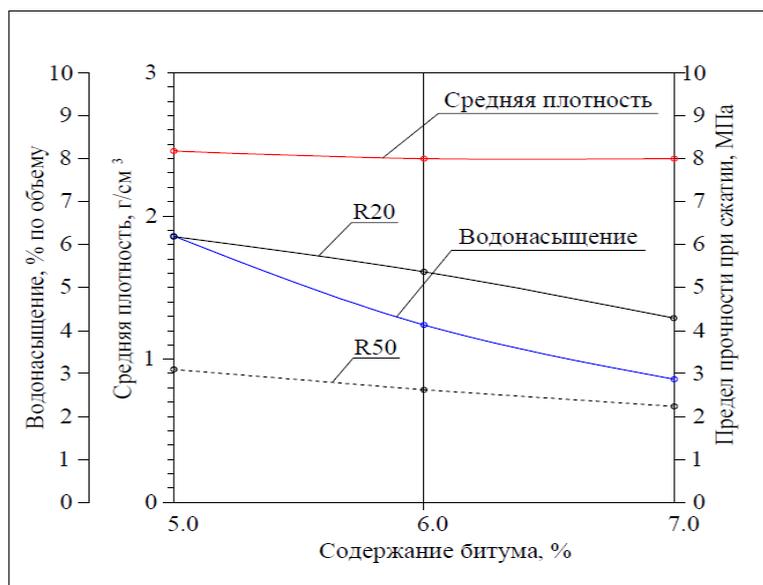


Рис. 2. Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси ВПШ

Воздействие воды на шлаковые асфальтобетоны, в отличие от асфальтобетонов с применением традиционных материалов, приводит к положительному эффекту и улучшению основных физико-механических свойств за счет протекания процессов взаимодействия битума с минеральным материалом в процессе длительной эксплуатации. Исследуя гидравлические вяжущие свойства шлакового щебня, отмечается возрастание прочности асфальтобетонных образцов после длительного содержания в воде [3]. Также этими данными подтверждается устойчивость битумных пленок на поверхности шлакового щебня в асфальтобетоне под влиянием погодных-климатических факторов на покрытие автодороги.

Помимо процессов взаимодействия битума и минерального материала происходит, также, доуплотнение покрытия под действием колес автомобилей. В этот период происходит увеличение плотности, угла внутреннего трения асфальтобетона за счет дробления отдельных щебенки шлака и, тем самым, стабилизируется структура асфальтобетона. Наибольший прирост прочности и плотности наблюдается в первые годы эксплуатации, затем значения остаются постоянными. При этом, покрытие в начальной стадии эксплуатации имеет хорошую сдвигоустойчивость, на нем не наблюдается образование волн и наплывов.

В процессе эксплуатации, покрытия с применением шлакового щебня сохраняют стабильность коэффициента сцепления и шероховатости поверхности не только за счет отсутствия шлифуемости шлаковых материалов, но и за счет появления дополнительных раковин на покрытии вследствие разнопрочности отдельных частиц шлакового материала, раздробления и выкрашивания его слабых разновидностей. Также наличие макрошероховатой поверхности обуславливает хорошее сцепление и в зимнее время, за счет уменьшения возможности появления гололеда на покрытии.

Наиболее полно, характеристики шлаковых асфальтобетонов и особенности их эксплуатации под воздействием транспортных нагрузок можно оценить при длительном наблюдении за опытными участками дорог. При этом необходимо иметь информацию о конструкции опытного участка, применяемых технологических режимах приготовления и укладки шлаковых асфальтобетонов [3].

С этой целью, в качестве исследуемого для оценки свойств и отработки технологии приготовления и укладки горячих шлаковых асфальтобетонов был принят участок на обходе села Борино автомобильной дороги II технической категории А-133 подъездная дорога от автомобильной дороги М-4 «Дон» к г. Липецк.



**Рис. 3.** Общий вид участка автомобильной дороги А-133 подъездная дорога от автодороги М-4 «Дон» к г. Липецку на обходе с. Борино

### Выводы

1. Применение в асфальтобетоне доменных шлаковых материалов, наряду с сохранением основных свойств асфальтобетона с использованием традиционных материалов, достичь стабильного коэффициента сцепления поверхности покрытия с колесом автомобиля.
2. За счет оптимально подобранного состава смеси возможно достичь требуемых прочностных характеристик конструктивного слоя.
3. Удешевить конструкцию за счет применения местных материалов.

### Библиографический список

1. Апестин В.К., Яковлева Ю.М. Испытание и оценка прочности нежестких дорожных одежд - М.: Транспорт 1977. - 185 с.
2. Корсунский М.Б. Практические методы определения напряженно-деформированного состояния конструкций дорожных одежд. Тр. Союздорнии. М., 1966 Вып. 6.С.152-155.
3. А.В. Смирнов, С.К. Иллиополов, А.С. Александров Динамическая устойчивость и расчет дорожных конструкций: учебное пособие/Под ред. А.В. Смирнова. – Омск; изд-во СибАДИ, 2003. – 188 с.
4. Волокитин В.П., Волокитина О.А., Еремин А.В. Теоретическое обоснование метода определения деформационно-прочностных характеристик асфальтобетонных покрытий на мостовых сооружениях. Дороги и мосты. 2017. № 1 (37). С. 14.

### References

1. Apestin V.K., Yakovleva Yu.M. Test and evaluation of the strength of non-rigid pavements - M.: Transport 1977. - 185 p.
2. Korsunsky M.B. Practical methods for determining the stress-strain state of pavement structures. Tr. Soydnorii. M., 1966 Iss. 6.C.152-155.
3. A.V. Smirnov, S.K. Illiopolov, A.S. Alexandrov Dynamic stability and calculation of road structures: a tutorial / Ed. A.V. Smirnov. - Omsk; Publishing house SibADI, 2003. - 188 p.
4. Volokitin V.P., Volokitina O.A., Eremin A.V. Theoretical justification of the method for determining the deformation-strength characteristics of asphalt-concrete coatings on bridge facilities. Roads and bridges. 2017. No. 1 (37). P. 14.

УДК 625.855

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Студент группы мПТС-181*

*Е.Г. Кварацхелия*

*Студент группы бСТР-182*

*А.В. Волокитина*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 240 82 66*

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

*Voronezh State*

*Technical University*

*A student of mPTS-181*

*E.G. Kvaratskheliia*

*A student of bSTR-182*

*A.V. Volokitina*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (910) 240 82 66*

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

Е.Г. Кварацхелия, А.В. Волокитина

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УСТРОЙСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Применение инновационных технологий в дорожном хозяйстве способствует эффективному использованию бюджета региона.

Для повышения качества работ и увеличения сроков службы дорожного покрытия автомобильных дорог особое внимание уделяется применению новых наиболее эффективных технологий, современных материалов и техники. В данной статье рассмотрим три современные технологии изготовления асфальтобетона с применением модификаторов.

**Ключевые слова:** графеновые нанотрубки, полимерно-дисперсно-армированный асфальтобетон, ПРДА-асфальтобетон, холодная регенерация, ресайклинг, тонкослойное покрытие.

E.G. Kvaratskheliia, A.V. Volokitina

## **INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR IMPROVING THE QUALITY OF THE DEVICE OF CAR ROADS**

The use of innovative technologies in the road sector contributes to the efficient use of the regional budget.

To improve the quality of work and increase the service life of road surfaces, special attention is paid to the use of new, most effective technologies, modern materials and equipment. In this article, we will consider three modern technologies for the production of asphalt concrete with the use of modifiers.

**Keywords:** graphene nanotubes, polymer-dispersed-reinforced asphalt concrete, PRDA-asphalt concrete, cold regeneration, recycling, thin-layer coating.

### **Графеновые нанотрубки**

Российская компания «ЭКО Групп» провела успешные испытания дорожного битума, модифицированного графеновыми нанотрубками TUBALL. Крупнейшим производителем графеновых нанотрубок является компания РОСНАНО OCSiAl, единственная владеющая масштабируемой технологией их промышленного синтеза (рис. 1).



**Рис. 1.** Презентация графеновых нанотрубок TUBALL

Что же представляют собой нанотрубки? Это невероятно прочный и легкий материал, который обладает свойствами высокой электро- и теплопроводностью, прочностью. Одно-стенные углеродные нанотрубки представляют собой свернутые в цилиндр плоскости графена, которые вводятся в битум с помощью адгезионных присадок, далее модифицированный битум добавляется в асфальтобетон, где формирует армирующую сеть, которая повышает рост устойчивости к образованию колеи и трещин на 67% (рис. 2). Это особенно важно для южных регионов, где трассы испытывают высокую транспортную нагрузку и высокие температуры.



**Рис. 2.** Графеновая нанотрубка

Нанотрубки улучшают свойства дорожного битума при очень низких концентрациях — от 0,025% до 0,035% в общей массе материала, при этом самого битума в асфальтобетоне — не более 6%. Испытания показали прирост температуры размягчения на 10°C и увеличение вязкости вяжущего более чем в 2 раза.

Экспертный совет при Министерстве транспорта РФ признал разработку инновационной и перспективной. Стоит отметить, что нанотрубки изучаются по всему миру, но только российская разработка позволила приступить к испытанию на реальных дорогах. Таким образом, укладка первого экспериментального участка дорожного полотна с нанотрубками была произведена на федеральной трассе М-4 «Дон». Будем надеяться, что модифицированный нанотрубками асфальтобетон вскоре станет стандартом строительства дорог в России.

### **Полимерно-резино-дисперсно-армирующий модификатор**

Чаще всего основной проблемой дорожной отрасли является образование пластических деформаций в нежестких дорожных одеждах, особенно это характерно для стран с высокой летней температурой. Перспективным способом повышения устойчивости дорожных покрытий к усталостному трещинообразованию и образованию пластических деформаций является применение полимерно-дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей (ПДА-смесей).

Полимерно-дисперсно-армированный асфальтобетон (ПРДА-асфальтобетон) – уплотненная смесь минеральных материалов (щебня и песка с минеральным порошком) с полимерно-резино-дисперсно-армирующим модификатором и вязким дорожным битумом (рис. 3). Данную смесь целесообразно применять в верхних и нижних слоях покрытия, а также в верхних слоях основания дорожной одежды. Асфальт, уложенный с применением такого метода, становится более эластичным и устойчивым к появлению трещин, а также на данном покрытии снижается вероятность образования колеи, т.к. с помощью ПРДА повышаются характеристики асфальтобетона: водостойкость возрастает в 1,2 раза, морозостойкость увеличивается на 12-17%; а водонасыщение понижается на 20-30%.



**Рис. 3.** Полимерно-дисперсно-армированный асфальтобетон (ПРДА-асфальтобетон)

Используя полимерно-дисперсно-резино-армирующую добавку, в Иркутской области отремонтировали верхний слой проезжей части на трассе Р-255 «Сибирь» 20-километровый участок (рис. 4). Большим плюсом является то, что технология приготовления асфальтобетонной смеси существенно не меняется, т.к. при применении модификатора дорожникам не нужно использовать дополнительное оборудование. Срок службы ПРДА-асфальтобетона от 12 лет.



Рис. 4. Участок трассы Р-255 «Сибирь»

### Применение холодной регенерации (ресайклинга) и тонкослойного покрытия

Одной из эффективных ресурсосберегающих технологий является холодная регенерация (ресайклинг). Суть технологии заключается в измельчении старого асфальтобетонного покрытия с добавлением битумной эмульсии или цемента с целью сохранить прочностные свойства покрытия (рис. 5). На это основание впоследствии укладывается новое асфальтобетонное покрытие.

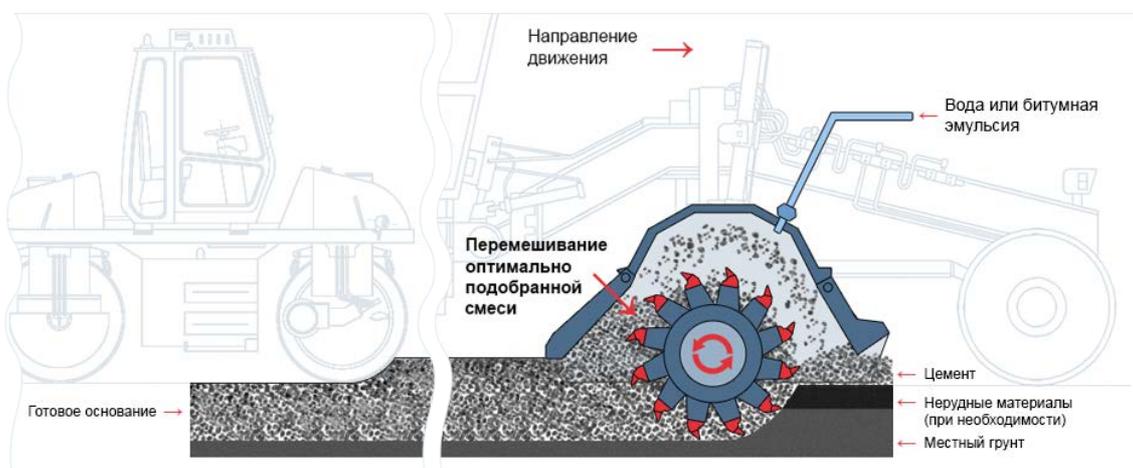


Рис. 5. Технология холодной регенерации

При холодном ресайклинге исключена необходимость вывоза удаляемого материала старого покрытия и доставки свежей горячей асфальтобетонной смеси, также не нужно складировать удаленный материал вблизи ремонтируемого участка, что не всегда возможно, особенно в городе. Расход битума гораздо меньше, чем при устройстве нового покрытия. Полностью используется старый каменный материал (для улучшения качества асфальтобетонной смеси в него может быть добавлен новый щебень).

С помощью тонкослойных покрытий также удастся увеличить количество отремонтированных и построенных трасс. При меньшей толщине асфальтобетонного покрытия, за счет

применения щебня повышенного качества значительно снижается стоимость ремонта и увеличивается скорость укладки. Кроме того, технология обеспечивает износостойкость, шероховатость и защищает покрытие от проникания в него влаги, а высокое содержание щебня создает каркасную структуру, что повышает коэффициент сцепления колеса с покрытием, снижая уровень шума.

Таким образом, определяющими преимуществами холодной регенерации являются: экономия топлива, трудозатрат и битума, а также соответствие самым высоким требованиям охраны окружающей среды, а тонкослойное покрытие не только продлевает срок службы дорожной одежды, но и значительно повышает комфортность и безопасность движения. В планах 2020 года восстановить по этой технологии почти 30 км дорог.

#### Выводы

1. Достоинства графеновых нанотрубок: высокая проводимость, термостойкость, сверхмалый вес, рекордная прочность и гибкость.
2. При применении ПРДА-асфальтобетона водостойкость возрастает в 1,2 раза, морозостойкость увеличивается на 12-17%, а водонасыщение понижается на 20-30%.
3. Преимущества холодной регенерации: экономия топлива, трудозатрат, соответствие требованиям охраны окружающей среды, а тонкослойное покрытие продлевает срок службы дорожной одежды и повышает безопасность движения.

#### Библиографический список

1. <https://www.rusnano.com>
2. <http://www.status-grunt.ru>
3. <http://www.dorinfo.ru>
4. СТО 27843643-001-2016 «Полимерно-резино-дисперсное армирование асфальтобетонных смесей, применяемых при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд»

#### References

1. <https://www.rusnano.com>
2. <http://www.status-grunt.ru>
3. <http://www.dorinfo.ru>
4. STO 27843643-001-2016 "Polymer-rubber-dispersed reinforcement of asphalt mixtures used in the construction of structural layers of pavement"

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

УДК 691.878

*Воронежский государственный  
технический университет*

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

*Н.М. Волков,*

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

*Д.Н. Дегтев,*

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

*С. А. Никитин,*

*Магистранты А. А. Колбешкина,*

*Д. А. Голубцов, А.В. Андреещев*

*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.A.*

*Ul'yanova N.M. Volkov*

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

*Ul'yanova D.N. Degtev*

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

*Ul'yanova S.A. Nikitin*

*Mag. A.A. Kolbechkina, D.A. Golubtsov,*

*A.V. Andreeshev*

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

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

Н.М. Волков, Д.Н. Дегтев, С.А. Никитин, А.А. Колбешкина, Д.А. Голубцов, А.В. Андреещев

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ШУМА В КАБИНАХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

Экспериментально исследовалось влияние массы пола на излучаемую виброакустическую энергию в кабину автогрейдера и влияние облицовки капота двигателя виброшумопоглощающим материалом на уровень звукового давления в кабине.

**Ключевые слова:** шум, виброакустика, виброшумопоглощающий материал, звуковая мощность.

N.M. Volkov, D.N. Degtev, S.A. Nikitin, A.A. Kolbechkina, D.A. Golubtsov, A.V. Andreeshev

### **EXPERIMENTAL RESEARCH OF METHODS FOR NOISE REDUCTION IN CABINS OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES**

The effect of the mass of the floor on the emitted vibroacoustic energy in the cabin of the grader and the effect of the lining of the engine hood with vibration-absorbing material on the sound pressure level in the cabin were experimentally studied.

**Keywords:** noise, vibroacoustics, vibration-absorbing material, sound power.

Установлено, что реальные источники виброакустической энергии можно представить как совокупность независимых источников, одни из которых излучают энергию только в ок-

ружающее воздушное пространство (воздушный шум), а другие только в корпусные и рамные конструкции через опорные и не опорные связи источников и кабины в виде звуковой вибрации (структурный шум) [2,3,4]. Следовательно, общий шум в кабине  $L_p$  формируется в результате суммирования воздушного и структурного шумов в соответствии с выражением [1, 2, 3, 4, 6].

$$L_p = 10 \lg(10^{0,1L_{cmp}} + 10^{0,1L_g}), \quad (1)$$

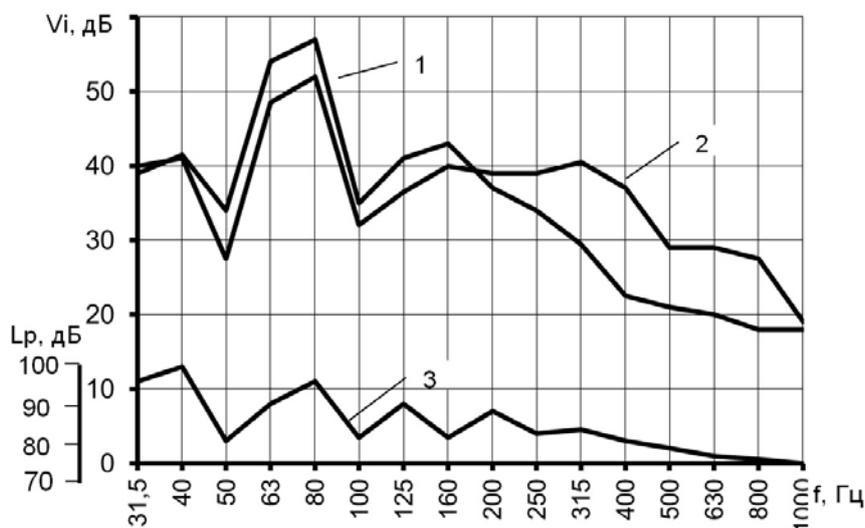
где  $L_{cmp}$  – шум в кабине, вызываемый звуковой вибрацией пола, потолка и панелей кабины, дБ;  
 $L_g$  – шум, проникающий в кабину воздушным путём, дБ.

Таким образом, звуковую вибрацию, распространяющуюся по элементам и конструкциям ЗТМ, можно приближенно оценивать с помощью виброскорости. Опытами подтверждено [2,4,5,6], что среднеквадратичное значение виброскорости, измеренное в какой либо точке конструкции в частотном диапазоне от 10 до 1000 Гц, наиболее точно отражает определенный уровень звуковой энергии (мощности) в данной точке.

В пол кабины виброакустическая энергия передаётся в основном через опорные связи (виброизоляторы). При этом виброскорость пола зависит от частоты и физико-геометрических характеристик пола и виброизоляторов.

Экспериментально исследовалось влияние массы пола на виброакустическую энергию, излучаемую в кабину и влияние облицовки капота двигателя виброшумопоглощающим материалом на УЗД в кабине. Все опыты проводились на твердой поверхности в свободном звуковом поле, автогрейдер вывешивался над опорной поверхностью. В коробке передач включалась первая передача, частота вращения вала двигателя устанавливалась максимальной и составляла  $2200 \text{ мин}^{-1}$ . Измерения осуществлялись с помощью шумомера ОКТАВА 101А и виброметра ОКТАВА 101В при закрытой кабине. Шумомер располагался в кабине на месте головы оператора, а акселерометры - на раме и полу кабины соответственно.

По результатам эксперимента построен график (рис. 1), на котором представлены экспериментальные 1/3-октавные спектры виброскоростей (дБ) рамы и пола у заднего виброизолятора с правой стороны автогрейдера. Из которого видно, что виброскорость пола на 1...5 дБ ниже по сравнению с виброскоростью рамы в диапазоне частот 31,5...160 Гц 1/3-октавных полос. Данный факт свидетельствует об увеличении доли структурной составляющей в общем шуме в кабине.



**Рис. 1.** Спектры уровней виброскоростей рамы под виброизолятором кабины (1), пола кабины у виброизолятора (2), спектр уровней шума в кабине (3)

Звуковая мощность, излучаемая пластиной ( $W$ ), зависит: от площади пластины, например, пола ( $S$ ); коэффициента излучения пластины ( $j$ ); квадрата виброскорости пластины ( $V^2$ ), акустического сопротивления среды ( $\rho c$ ) [4].

$$W = \rho c S V^2 j, \quad (2)$$

где  $\rho$ ,  $c$  – соответственно плотность воздушной среды и скорость распространения звука в воздушной среде.

$$c = 20,04 (273 + T_c)^{1/2}, \quad (3)$$

где  $T_c$  - температура воздуха в кабине, °С.

Выражение (3) следует считать приближённым, так как оно получено для свободно опёртых пластин постоянной толщины, без рёбер жёсткости и с размерами, в несколько раз превышающими длину звуковой волны в воздухе.

Согласно рисунку 1 необходимо отметить, что в диапазоне частот 31,5...315 Гц 1/3-октавных полос уровень звукового давления ( $L_p$ ) колеблется от 96 до 80 дБ за счёт повышенной звуковой вибрации пола кабины. На частотах 400...800 Гц уровень виброскорости пола хотя и превышает звуковую вибрацию рамы, но УЗД в кабине снижается примерно до 70...72 дБ вследствие более быстрого затухания с повышением частоты.

Таким образом, одним из путей снижения шума в кабине на частотах 31,5...315 Гц 1/3-октавных полос является снижение звуковой вибрации пола.

Характер излучения звука пластиной различен на частотах до и после её граничной частоты. Граничная частота пластины, при которой скорость изгибных волн в ней равна скорости звука в воздухе, определяется формулой [4].

$$f_{cp} = \frac{c^2}{2\pi \sqrt{\frac{m_n}{D}}}, \quad (4)$$

где  $c$  – скорость звука в воздухе, м/с;  $m_n$  – масса пластины на единицу площади ( $m_n = \rho_n h$ , здесь,  $\rho$ ,  $h$  – плотность материала и толщина пластины соответственно), кг;  $D$  – жёсткость пластины

$$D = E h^3 / 12(1 - \gamma^2), \quad (5)$$

где  $E$ ,  $\gamma$  - соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона материала пластины. Если для стали  $E = 2,17 \times 10^5$  МПа,  $\gamma = 0,3$ ,  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup> [19], то  $f_{cp} = 136$  Гц при  $h = 0,003$  м.

Законом массы звукоизоляция пластиной описывается на частотах ниже граничной при  $f \leq 0,5f_{cp}$  [4]. Жёсткость пластины играет при этом малую роль. Увеличение жёсткости пластины способствует повышению звукоизоляции в области высоких частот,  $f > f_{cp}$ .

В этой связи некоторое снижение общего шума в кабине достигнуто за счёт эксперимента по увеличению массы пола, путём установки дополнительной пластины массой 43,5 кг. В данном случае  $f_{cp} = 230$  Гц.

Результаты измерений виброскорости пола представлены на рисунке 2. Как видно из 1/3-октавных спектров уровней виброскорости, значительное снижение звуковой вибрации пола за счёт увеличения массы происходит на низких частотах 1/3-октавных полос – 31,5; 40; 63; 80; 100 Гц. В то же время в диапазоне частот 800...1250 Гц 1/3-октавных полос заметно повышение уровня виброскорости пола с увеличенной массой, но уровни звукового давления на данных частотах существенно ниже допустимых по ГОСТ – 12.1.003 – 83. Эквивалентный уровень звука в кабине при увеличении массы пола снизился на 1 дБА.

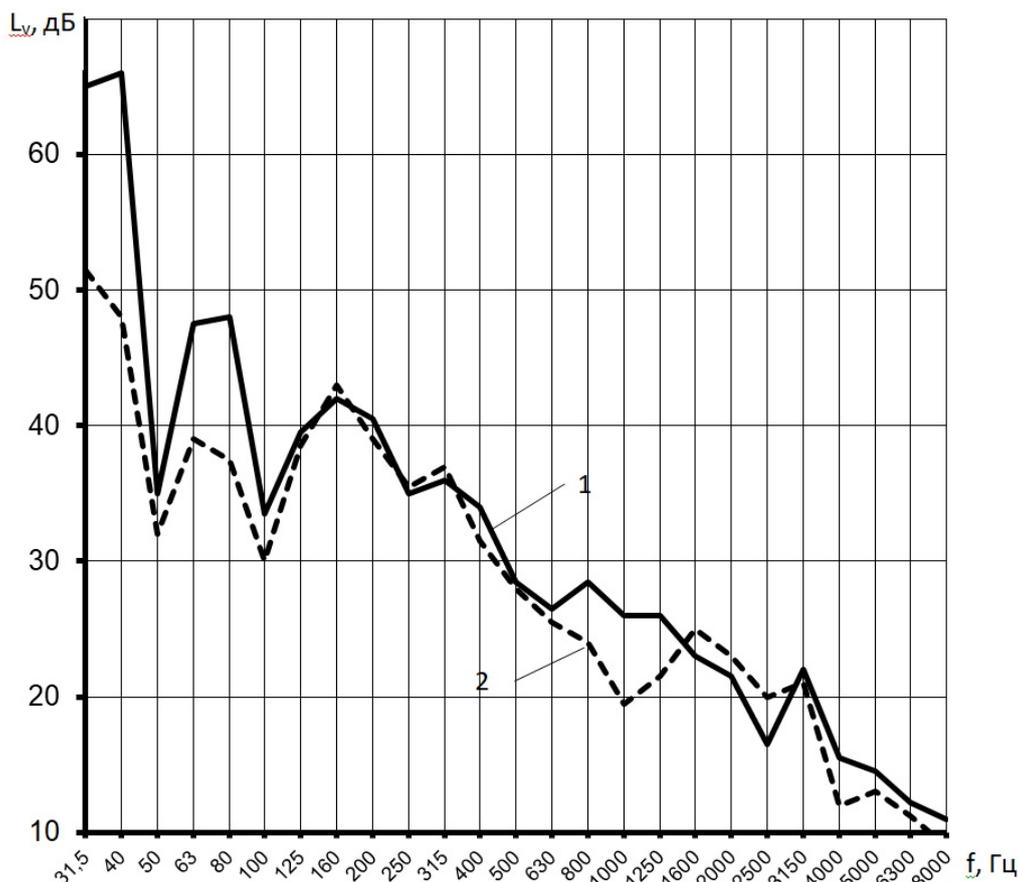


Рис. 2. Результаты измерения: виброскорости пола в 1/3-октавных полосах частот (1), с увеличенной массой пола на 43,5 кг.(2)

Другим методом снижения шума в кабине является применение облицовки звукоизолирующего капота двигателя виброзвукопоглощающим материалом. Опыты, проведённые на натурном образце машины позволяют утверждать, что звукопоглощающее пористое покрытие с коэффициентом звукопоглощения при диффузном падении звука  $\alpha_k = 0,15 \dots 0,65$  в октавных полосах частот 63...1000 Гц, нанесённое на боковые стенки капота снижает шум в кабине на 2...2,5 дБА. При этом отношение площади панелей капота, покрытой звукопоглощающим материалом к общей площади панелей составляло 0,27.

При увеличении массы пола кабины на 43,5 кг и установке звукоизолирующего капота из пористого материала эквивалентный уровень звука в кабине составил 81 дБА. Таким образом, посредством простых методов удалось снизить эквивалентный уровень звука в кабине автогрейдера в районе головы оператора с 84,5 до 81 дБА.

### Выводы

1. Снижение звуковой вибрации панелей кабины, обуславливающих структурный шум на низких частотах в 1/3-октавных полосах, возможно за счёт увеличения толщины пластины пола, так как при этом увеличивается его масса. Например, увеличение массы на 43,5 кг обеспечивает снижение шума в кабине на 1 дБА.

2. Наибольшую эффективность, с точки зрения снижения эквивалентного уровня звука в кабине, обеспечивает капот двигателя с облицовкой панелей звукопоглощающим материалом. При облицовке только боковых панелей капота звукопоглощающим покрытием удаётся снизить УЗ в кабине на 2...2,5 дБА.

## Библиографический список

1. Устинов Ю.Ф., Муравьев В.А., Дегтев Д.Н., Муравьев А.В., Волков Н.М., Харламов А.Ю. Звукоподавляющая ячеистая панель. Патент на изобретение RU 2239238 C1, 27.10.2004. Заявка № 2003107507/28 от 18.03.2003.
2. Никитин С.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Душкин С.В., Иванов С.А. Результаты исследований звукопоглощающих материалов. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. № 1. С. 258-266.
3. 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.
4. Волков Н.М. Автогрейдеры легкого типа с улучшенными виброакустическими характеристиками. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Воронеж, 2003.
5. Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Анферов П.С., Дружинин Д.Е. Лабораторные испытания звукопоглощающих конструкций из перспективных материалов. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2014. №1. С. 162-164.
6. Устинов Ю.Ф., Муравьев В.А., Щербинин М.И., Чернов М.В., Никитин С.А., Покачалов А.С., Кравченко А.А., Дуплищев С.М., Муравьев А.В., Кондауров Ю.А., Волков Н.М. Звукопоглощающая сотовая панель. Патент на изобретение RUS 2206458 29.03.2002.

## References

1. Ustinov Ju.F., Murav'ev V.A., Degtev D.N., Murav'ev A.V., Volkov N.M., Kharlamov A.Ju. Sound-suppressing cell panel. Patent RU 2239238 C1, published 27.10.2004.
2. Nikitin S.A., Volkov N.M., Degtev D.N., Dushkin S.V., Ivanov S.A. Sound-absorbing materials research results. Scientific Newsletter Of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering High-tech solutions. Ecology. 2016. № 1. P. 258-266.
3. Ustinov Yu.F., Volkov N.M., Pokachalov A.S., Goltsov D.N., Chernyshev D.I. Vibroacoustic characteristics graders // Building and road machines. 2015. №1.s.7-10.
4. N.M. Volkov. Graders light type with improved vibroacoustic characteristics. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Voronezh, 2003.
5. Volkov N.M., Dyogtev D.N., Anfyorov P.S., Drujinin D.E. Laboratory tests of acoustic liners promising materials. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: HighTechnologies. Ecology. 2016. pp. 162-164.
6. Ustinov Ju.F., Muravev V.A., Shcherbinin M.I., Chernov M.V., Nikitin S.A., Pokachalov A.S., Kravchenko A.A., Duplishchev S.M., Muravev A.V., Kondaurov Ju.A., Volkov N.M. Sound-absorbing honeycomb./ Patent 2206458, published 29.03.2002, abstract, with 6.

*Воронежский государственный техниче-  
ский университет*

*Студент кафедры строительной техни-  
ки и инженерной механики*

*Князев С.Б.*

*Научный руководитель*

*Канд. техн. наук., доцент*

*Геращенко В.Н.*

*Voronezh State*

*Technical University*

*Student of the Department of Structural tech-  
nics and engineering mechanics*

*Knyazev B.S.*

*Scientific supervisor*

*Cand of Techn. Sci, associate professor*

*V.N. Gerashchenko.*

В.Н. Геращенко, С.Б. Князев

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПО ХОДОВОМУ ОБОРУДОВАНИЮ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ 5-ОЙ РАЗМЕРНОЙ ГРУППЫ**

Большой объем земляных работ, выполняемых в строительстве, требует эксплуатации одноковшовых экскаваторов с различными видами рабочего оборудования и ходовых устройств. Для модернизации основных узлов экскаваторов требуются новые материалы и современные технологии.

**Ключевые слова:** одноковшовые экскаваторы, рабочее и ходовое оборудование, модернизация, новые материалы и технологии.

V. N. Gerashchenko, S.B. Knyazev

### **THE RESERCH AND AGGREGATION OF THE RESULTS ON RUNNING EQUIPMENT OF HYDRAULIC EXCAVATORS IN THE FIFTH SIZE GROUP**

A large amount of excavation work performed in the construction? Operation requires shovels with different types of working equipment and running devices. To modernize the units of excavators require new materials and modern technology.

**Keywords:** shovels, working and running equipment, modernization, new materials and technologies.

Известно, что в процессе строительного производства одноковшовые экскаваторы, как землеройные машины, выполняют до 40% объема земляных работ. Это и отрывка котлованов, траншей, возведение плотин, устройство дорожного полотна и многое другое. Следовательно, поднимается вопрос о повышении производительности одноковшовых экскаваторов, что не может быть обеспечено без повышения надежности основных узлов: ходового оборудования, рабочего оборудования, приводов основных механизмов. Таким образом, решением данного вопроса, связано с некоторыми особенностями конструкции вышеперечисленных узлов в современных условиях. [1]

Также стоит отметить, что в наши дни важнейшим условием развития экскаваторостроения является создание конкурентоспособной продукции при сопоставимых ценах. Данное условие может быть выполнено при целенаправленных действиях:

- широкое внедрение новых сверхпрочных материалов, обладающих повышенной износостойкостью;
- использование новейших технологий, позволяющих увеличить надежность, прочность и коррозионную стойкость;
- внедрение микропроцессорной техники;
- увеличение геометрической вместимости рабочего органа;
- применение энергосберегающих систем, в том числе новых систем впрыскивания топлива, турбонаддува, охлаждения, а также автоматических систем управления и контроля, улучшения условий труда. [2]

Нельзя не отметить тяжелейшие условия работы ходового оборудования экскаваторов, подверженного высоким нагрузкам и интенсивному износу. Чтобы обеспечить надежность узлов ходового оборудования в процессе эксплуатации, необходимо выполнить следующие условия:

- обеспечение эффективной защиты от проникновения пыли, грязи, грунта в места посадки ходового оборудования и катков;
- отвод тепла, возникающего в результате трения соприкасающихся уплотняемых поверхностей, должен осуществляться посредством доступа смазочных средств;
- трение должно быть минимальным;
- внедрение унифицированных составных частей для привода хода экскаватора.

Большинство условий, представленных выше могут быть решены в централизованном порядке и при активном действии субъектов федерации, например, при организации производства кабинного модуля на заводах бывшего Минавтосельхозмаша.

Исходя из вышеперечисленного, мы считаем, что наиболее перспективными конструкциями привода хода экскаватора является привод, осуществляемый с помощью планетарных редукторов, унифицированных с механизмами привода поворота платформы. Достоверность данного суждения подтверждается проведенными исследованиями и анализом существующих конструкций привода хода экскаватора, выпускаемых в мире. [3]

Механизмы натяжения гусеничных лент должны быть компактными с применением в качестве демпфирующих элементов гостированных тарельчатых пружин. Если говорить о катках опорных и поддерживающих, особое внимание нужно уделить их смазке и требованиям, предъявляемым к материалам, из которых изготавливаются контактные кольца и уплотнения.

В ходовом оборудовании выгодно применять гусеничные ленты тракторного типа, что увеличивает срок службы и надежность.

Вышеприведенные особенности конструкции ходового оборудования позволяют устранить недостатки, характерные для традиционных ходовых устройств. Рекомендуемые изменения в конструкциях элементов ходового оборудования позволяют при использовании новейших технологий повысить их надежность, способность выдерживать низкие температуры, обеспечивая эффективную защиту от проникновения пыли, грязи, грунта в местах посадок [4]

Таким образом, все вышесказанное указывает на возможность повышения надежности элементов ходового оборудования, что будет способствовать более эффективной работе гусеничных экскаваторов.

## Библиографический список

1. В.Н. Геращенко, И.А. Попов «О некоторых проблемах экскаваторостроения в современных условиях в России». Высокие технологии. Экология. 15-ая межрегиональная научно-практическая конференция, ВГАСУ, Воронеж-2012, 3 стр.
2. В.А. Башкиров, В.Н. Геращенко «О некоторых проблемах экскаваторостроения и путях их решения» // «Строительные и дорожные машины», №10, 1993, с.6-8.
3. В.Н. Геращенко «Влияние конструктивных элементов гусеничного ходового оборудования экскаватора на эффективность его работы». Научно-образовательный форум. Инновации в сфере науки, образования и высоких технологий, ВГАСУ, Воронеж-2013, 2 стр.
4. В.Н. Геращенко, П.С. Вдовин. Исследование элементов ходового оборудования гидравлических экскаваторов 5-ой размерной группы. Высокие технологии, ВГАСУ, Воронеж-2012, 4 стр.

## References

1. V.N. Gerashchenko, I.A. Popov. On Some of Excavator-Construction under Modern Conditions in Russia. High Technologies. Ecology. 15<sup>th</sup> Interregional scientific-and-practical conference. VGASU, Voronezh-2012, 3 pages.
2. V.A. Bashkirov, V.N. Gerashchenko. On Some Problems of Excavator- Construction and the Ways of YHEIR Solution // Road-making and Construction machines. 1993, №10 p.6-8.
3. V.N. Gerashchenko. Influence of Constructive Elements of Excavator Crawler Running Gear on the Efficiency of its Operation. Scientific-and-Educational Forum. Innovations in the Sphere of Science, Education and High technologies. VGASU, Voronezh-2013, 2 pages.
4. V.N. Gerashchenko, P.S. Vdovin. Investigation of Running Gear Elements of the 5-Size Group Hydraulic Excavator. High technologies. Ecology. 15<sup>th</sup> Interregional scientific-and-practical conference. VGASU, Voronezh-2012, 4 pages.

*Воронежский государственный  
технический университет  
Студент кафедры строительной техники  
и инженерной механики  
Кобенков И.А.  
Научный руководитель  
Канд. техн. наук., доцент  
В.Н.Герашченко  
Россия, г. Воронеж тел. 8 920 224 06 96*

*Voronezh State  
Technical University  
Student of the Department of Structural tech-  
nics and engineering mechanics  
Kobencov I.A.  
Scientific supervisor  
Candidate of technical Sciences., professor  
V. N. Gerashchenko  
Russia, Voronezh tel. 8 920 224 06 96*

В.Н. Герашченко, И.А. Кобенков

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ХОДОВОГО МЕХАНИЗМА С ЦЕЛЬЮ МОДЕРНИЗАЦИИ НАТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА 5-ОЙ РАЗМЕРНОЙ ГРУППЫ**

Большой объем земляных работ в процессе строительного производства, связанный с разработкой грунта, а именно: по отрывке котлованов, траншей, отсыпке насыпей, возведению плотин, дорожного полотна требует эксплуатации машин для земляных работ, в том числе, и одноковшовых экскаваторов. Причем ходовое оборудование вышеуказанных машин работает в тяжелых условиях, подвергаясь высоким нагрузкам и интенсивному износу. При этом встает вопрос о производительности одноковшовых экскаваторов, что не может быть обеспечено без повышения надежности элементов ходового оборудования, таких как: рама хода, привод хода, механизм натяжений гусеничной ленты, катки опорные и поддерживающие и сама лента гусеничная. Решение этих вопросов непосредственно связано с некоторыми особенностями конструирования вышеперечисленных узлов ходового оборудования [1].

**Ключевые слова:** одноковшовый экскаватор, ходовое оборудование, привод, механизм натяжения, гусеничная лента.

V.N. Gerashchenko, I. A. Kobencov

### **RESEARCH OF THE RUNNING GEAR FOR THE PURPOSE OF MODERNIZATION OF THE TENSIONING DEVICE OF THE HYDRAULIC EXCAVATOR OF THE 5TH DIMENSION GROUP**

A large amount of excavation work in the process of construction production associated with the development of soil, namely: excavation of pits, trenches, filling of embankments, construction of dams, roadbed requires the operation of machines for excavation, including single-bucket excavators. Moreover, the running equipment of the above-mentioned machines works in the most difficult conditions, being subjected to high loads and intense wear. This raises the question about the performance of the shovel excavator that can not be achieved without improving the reliability of components of the navigation equipment, such as: frame of the stroke, the actuator stroke, the mechanism of the tension rollers, support rollers and support, and the tape itself is tracked. The solution of these issues is directly related to some of the design features of the above-mentioned units of running equipment [1].

**Keywords:** single-bucket excavator, running equipment, drive, tension mechanism, crawler belt.

Говоря о надежности узлов ходового оборудования в процессе эксплуатации, необходимо отметить те направления, которые будут этому способствовать, а именно:

- обеспечение эффективной защиты от проникновения пыли, грязи, грунта в места посадки ходового оборудования и катков;
- отвод тепла, возникающего в результате трения соприкасающихся уплотняемых поверхностей, должен осуществляться посредством доступа смазочных средств;
- трение должно быть минимальным;
- внедрение унифицированных составных частей для привода экскаватора.

Изначально, натяжение гусеничных лент, как это было применено на одноковшовом экскаваторе ЭО – 5121, осуществлялось при помощи натяжного болта. В следующей конструкции, использовавшейся на экскаваторе ЭО – 5122, болт был заменен на гидроцилиндр, и натяжение происходило при помощи нагнетания в него масла. Конструкция экскаватора ЭО – 5123 дополнительно содержала цилиндрическую пружину механизма сдавания. При наезде гусеницы на неровность или развороте пружина сжимается, и гусеница разгружается от внезапно возникших нагрузок. При исчезновении нагрузок под действием пружины колесо перемещается в исходное положение, создавая первоначальное натяжение гусеничной ленты. Недостатком данной конструкции являлись ее габаритные размеры, что устранили в следующей модификации ЭО – 5124, поместив гидроцилиндр во внутреннюю полость цилиндрической пружины. Привод экскаватора ЭО-5126 аналогичен приводу экскаватора ЭО-5124. Изменена конструкция натяжного колеса (в данной конструкции предлагается колесо с зубьями, что позволило отказаться от отбойников предназначенных для предохранения гусениц от сброса. Следующим этапом развития стало применение в качестве амортизационного устройства тарельчатых пружин, что подтверждает авторское свидетельство № 1736817 [2].

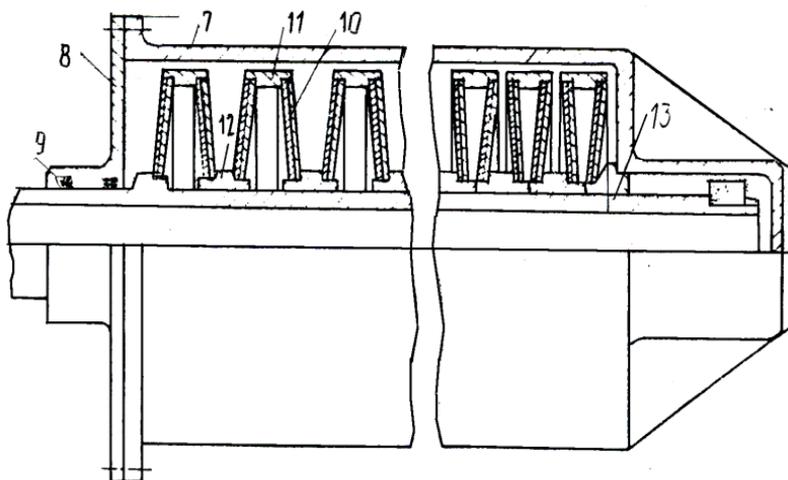


Рис. 1. Амортизационное устройство, разрез

Амортизационное устройство (рисунок 1) содержит корпус 7 с крышкой 8, в отверстие бобышки которой вставлена гладкая цилиндрическая часть стяжного винта 9, концом взаимодействующая с корпусом натяжного устройства. Соосно винту 9 размещена амортизационная пружина, состоящая из пакетов тарельчатых упругих элементов 10, разделенных наружными 11 и внутренними 12 дистанционными кольцами, причем крайнее левое (по чертежу) кольцо 12 закреплено на винте 9, а крайнее правое кольцо 12 выполнено с буртом, взаимодействующим с отверстием 13 в ступенчатой части корпуса 7. При помощи колец 11 и 12 обеспечивается симметричный прогиб упругих элементов 10 и увеличенный упругий ход каждого из них.

## Выводы

Преимущество данного механизма заключается в том, что замена цилиндрической пружины на тарельчатую приводит к уменьшению габаритных размеров на тарельчатую и улучшению ремонтоспособности. Так же с целью повышения эффективности использования экскаватора возможно применение полуавтоматической системы натяжения гусеничной ленты с использованием системы клапанов, что способствует повышению коэффициента использования машины по времени, а, следовательно, повышению эксплуатационной производительности экскаватора.

## Библиографический список

1. Геращенко В. Н. О некоторых особенностях конструирования гусеничного ходового оборудования гидравлических экскаваторов в современных условиях. Инновация в сфере науки, образования и высоких технологий, 64-я научно-практическая конференция ВГАСУ, Воронеж-2009, 2 стр.
2. Карпачев Н.Ф. Патент на изобретение №1736817.

## References

1. Gerashchenko, V. N. About some features of the design of the caterpillar undercarriage equipment for hydraulic excavators in the modern world. Innovation in science, education and high technologies, 64th VSUACE scientific and practical conference, Voronezh-2009, 2 pages.
2. Karpachev N. F. patent for invention No. 1736817.

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доцент кафедры авто-  
матизированного оборудования машино-  
строительного производства А.В. Демидов  
Магистрант кафедры автоматизирован-  
ного оборудования машиностроительного  
производства У.Махжуб  
Канд. техн. наук доцент кафедры автома-  
тизированного оборудования машино-  
строительного производства О.И. Попова  
Канд. техн. наук доцент кафедры автома-  
тизированного оборудования машино-  
строительного производства М.И. Попова  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(960) 101-13-68  
e-mail: [dontcray@mail.ru](mailto:dontcray@mail.ru)*

*Voronezh State  
Technical University  
Kand. Tech. Associate Professor  
of Automated Machinery  
A.V. Demidov  
Master of the Department of Automated Engi-  
neering Equipment  
O. Mahjoub  
Kand. Tech. Associate Professor  
of Automated Machinery Equipment  
O.I. Popova  
Kand. Tech., Assistant Professor of Automated  
Machinery Equipment  
M.I. Popova  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(960) 101-13-68  
e-mail: [dontcray@mail.ru](mailto:dontcray@mail.ru)*

А.В. Демидов, У. Махжуб, О.И. Попова, М.И. Попова

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС**

Рассматриваются влияние металлообрабатывающей фрезы, с изменёнными конструктивными элементами режущей части по сравнению со стандартным инструментом, на точностные характеристики червячного колеса в процессе его механической обработки на фрезерном станке.

**Ключевые слова:** инструмент, точность механической обработки, фрезерование, червячная фреза.

A.V. Demidov, O. Mahjoub, O.I. Popova, M.I. Popova

## **MATHEMATICAL SEMYSATION PROCESS OF FREECHERS CHERSA**

The influence of the metalworking cutter, with the altered structural elements of the cutting part compared to the standard instrument, to the exact characteristics of the worm wheel during its mechanical processing on the milling part is considered. Machine.

**Keywords:** tool, mechanical precision, milling, worm cutter.

При проектировании высокоточного станочного оборудования, актуальным является вопрос об увеличении точности отдельных узлов, а так же всего станка в целом и, как следствие, возрастает потребность в повышении работоспособности, надежности и точности работы металлорежущего инструмента. В данной статье ставится задача повышения точности изготовления червячного колеса входящего в состав червячной передачи. Одним из способов изготовления червячных колес является метод обкатки на зубофрезерном станке с помощью многолезвийного инструмента – червячной фрезы.

Использование стандартных червячных фрез по ГОСТ 9324 класса точности АА и ААА с увеличенными габаритными размерами негативно отражается на механической обработке червячного колеса, так как увеличение делительного диаметра червячной фрезы приводит к увеличению межосевого расстояния в соответствующем станочном зацеплении и значительного ослабления зубьев из-за большего объема срезаемого материала.

В работе [1] показано, что уменьшение негативного влияния указанных факторов в процессе зубофрезерования, можно достигнуть за счет повышения количества стружечных канавок. Такое конструктивное изменение достигается при таком же диаметре вершин фрезы, то есть без его увеличения за счет изменения геометрии зубьев, а именно уменьшения высоты их и разделением профиля зубчатой рейки нормального начального контура по высоте между фрезами для последовательных проходов. Недостатком указанного метода является, высокая трудоемкость наладки станка и большая погрешность между положениями за время первого и второго прохода червячной фрезы, что негативно влияет на точность изготавливаемого зубчатого колеса.

Для устранения указанных недостатков можно разделить в червячной фрезе профиль инструментальной рейки нормального начального контура по высоте на три части. Тогда у такой фрезы зубья для первого, второго и третьего технологических проходов должны располагаться на одной винтовой линии с одинаковым диаметром впадин и различными диаметрами вершин. В этом случае геометрия зубьев фрезы для выполнения первого прохода соответствуют профилю ножки зубьев инструментальной рейки в нормальном сечении начального контура, а зубья для выполнения третьего прохода - головке зубьев в нормальном сечении [2, 3].

Для оценки точности процесса фрезерной обработки цилиндрических червячных колес были проведены ряд исследований для моделирования процесса механической обработки бронзовых заготовок марки О<sub>5</sub>С<sub>5</sub>Ц<sub>5</sub>. В результате исследования составлена матрица планирования эксперимента, показанная в таблице 1, и получены многофакторные математические модели, связавшие такие факторы как: режим работы и геометрические характеристики червячной фрезы с геометрическими характеристиками изготовленного червячного колеса. Полученные математические модели представлены в таблице 2. Моделирование инструмента проводилось в САД системе Компас 3DV16.

Для измерения точности геометрии червячного колеса были выбраны статистически значимые [4] параметры: погрешность шага (левой и правой стороны) зубьев колеса  $f_p$ , мкм; накопленная погрешность шага (левой и правой стороны)  $F_p$ , мкм; радиальное биение колеса  $F_r$ , мкм. Для оценки точности зубчатого колеса рассмотрим показатель кинематической точности - накопленную погрешность шага, погрешность шага и радиальное биение.

На основании статистически значимых параметров были выбраны три фактора, существенно влияющие на процесс фрезерования червячных колес:

1. Число разделяющих частей профиль инструментальной рейки червячной фрезы  $N$ , шт.
2. Число зубьев  $Z$ , шт.
3. Число технологических проходов червячной фрезы при фрезеровании колеса методом тангенциальной подачи  $n_{пр}$ , количество проходов.

Остальные факторы процесса обработки были обозначены константами на постоянных уровнях: тангенциальный метод обработки; скорость обработки:  $V=30$  мм/мин, подача  $S_t=1,7$  мм/об, частота вращения  $n = 160$  мин<sup>-1</sup>; зубообрабатывающий станок 5К32А.

Таблица 1

Матрица плана  $2^3$  для экспериментального исследования

Факторы		$N$ , шт	$Z$ , шт	$n_{пр}$ кол-во проходов	
Основной уровень ( $X_{i0}$ )		2	9	2	
Интервал варьирования ( $\Delta X_i$ )		1	3	1	
Верхний уровень ( $X_i = +1$ )		3	12	3	
Нижний уровень ( $X_i = -1$ )		1	6	1	
Код		$x_1$	$x_2$	$x_3$	
Номер испытания		1	+	+	+
		2	-	+	+
		3	+	-	+
		4	-	-	+
		5	+	+	-
		6	-	+	-
		7	+	-	-
		8	-	-	-
Испытания в центре плана	Номер второго испытания	1	0	0	0
		2	0	0	0
		3	0	0	0
		4	0	0	0

Таблица 2

Математические модели процесса фрезерования цилиндрических червячных колес

№ модели	Математическая модель	Фактор	Масштабные соотношения факторов
1	$y_1 = 16,875 - 3,875x_1 - 0,875x_2 - 1,875x_3$	$f_{P_{лев}}(y_1)$	$x_1 = 1(X_1 - 2);$ $x_2 = 0,333333* (X_2 - 9);$ $x_3 = 1(X_3 - 2).$
2	$y_2 = 15,75 - 2,25x_1 - 1,25x_3$	$f_{P_{прав}}(y_2)$	
3	$y_3 = 48,125 - 5,625x_1 - 1,375x_2 - 2,875x_3$	$F_{P_{лев}}(y_3)$	
4	$y_4 = 57,125 - 8,875x_1 - 2,375x_2 - 4,375x_3$	$F_{P_{прав}}(y_4)$	
5	$y_5 = 38,75 - 6,5x_1 - 1,5x_2 - 3,25x_3$	$F_r(y_5)$	

Перед началом работы на фрезерном станке новая червячная фреза была выставлена на необходимое межосевое расстояние (фрезерование методом тангенциальной подачи). При неизменной осевой подаче фрезы была последовательно обработана цилиндрическая заготовка зубьями первого, второго и третьего технологических проходов. Фрезерование зубьями первого прохода было выполнено с момента контакта заборного конуса инструмента с обрабатываемой заготовкой и до момента выхода этих же зубьев из зоны контакта с цилиндрической заготовкой. При этом зубья фрезы первого прохода провели обработку 1/3 с внеш-

ней стороны высоты зуба червячного колеса. Фрезерование второго технологического прохода, при котором была обработана средняя треть высоты зуба червячного колеса, началось с момента контакта зубьев фрезы с обрабатываемой поверхностью до момента выхода их из зоны контакта с заготовкой. Фрезерование зубьями третьего прохода началось с момента контакта зубьев с обрабатываемой поверхностью заготовки до момента выхода их из зоны контакта с цилиндрической заготовкой червячного колеса. Во время обработки третьего технологического прохода была обработана нижняя треть от высоты зуба червячного колеса, а ножки с профилем зубьев в форме трапеции участия в механической обработке не принимали. После выхода зубьев фрезы для третьего прохода из силового зацепления «червячная фреза – заготовка- червячное колесо» фрезерование было окончено.

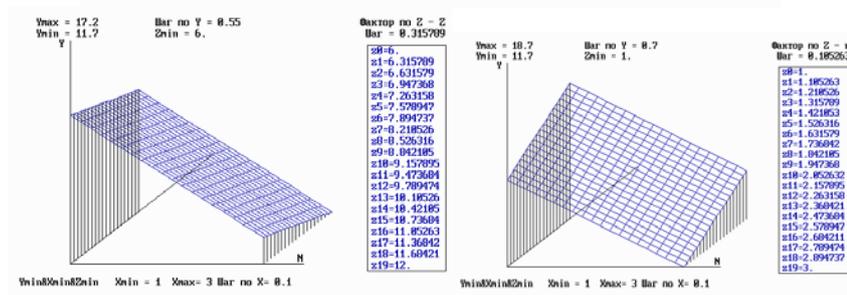
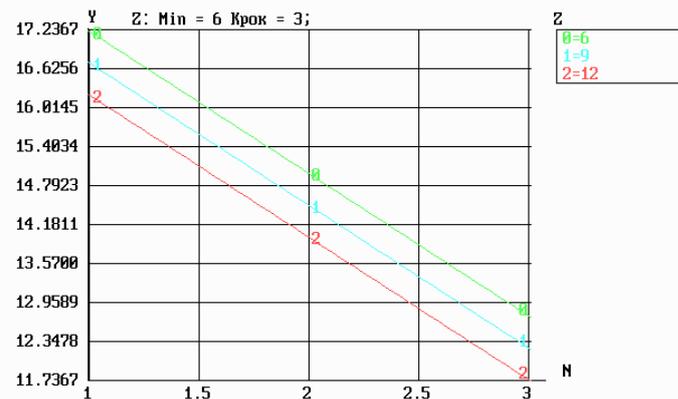
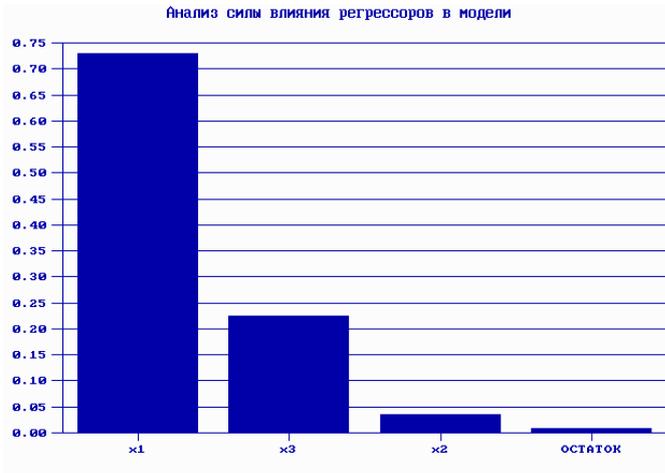
Расчет полиномиальных математических моделей процесса механической обработки червячных колес проводился по методике [5] с использованием пакета прикладных программ «Планирование, регрессия и анализ моделей» (ПО ПРИАМ). Результаты расчета с помощью программного обеспечения показаны в таблице 3.

Таблица 3

Расчет полиномиальных математических моделей с использованием ПО ПРИАМ

Полученная математическая модель	Результат расчета
$f_p$ , правая сторона $Y = 15.7367 - 2.25x_1 - 1.25x_3$	- АНАЛИЗ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ
	- Остаточная дисперсия 0.4188
	- Дисперсия воспроизводимости 0.229
	- Расчетное значение F-критерия 1.82882
	- Уровень значимости F-критерия для адекватности 0.05
	- для степеней свободы $v_1 = 6$ $v_2 = 3$
	- Табличное значение F-критерия для адекватности 8.94065
	- Стандартная ошибка оценки 0.647148
	- (скоррект. с учетом степеней свободы ) 0.69183
	- Модель адекватна
	- Примечание:
	- Дисперсия воспроизводимости задана пользователем
	-
	-
	- АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ МОДЕЛИ
	- Основные характеристики
	- Доля рассеивания объясняемая моделью 0.954735
	- Введено регрессоров (эффектов) 3
	- Коэффициент множественной корреляции 0.977105
	- (скоррект. с учетом степеней свободы) 0.973791
	- F отношение для R 63.276
	- Уровень значимости F-критерия для информативности 0.05
	- для степеней свободы $v_1 = 2$ $v_2 = 6$
	- Табличное значение F-критерия для информативности 5.14325
	- Модель ИНФОРМАТИВНА

- Критерий Бокса и Веца для информативности 3
- Информативность модели ХОРОШАЯ
- Средняя абсолютная погрешность аппроксимации - 0.456296
- Средняя погрешность аппроксимации в процентах - 2.97327



## Выводы

1. В результате анализа полученных математических моделей (табл.1) было установлено, что наибольшее влияние на точность механической обработки червячного колеса оказывает количество разделенных частей профиля по высоте инструментальной рейки червячной фрезы N. С увеличением количества разделяющих частей инструментальную рейку повышается точность геометрии обработанного червячного колеса. Число разделяющих профиль

частей по высоте инструментальной рейки червячной фрезы  $N$  при обработке червячного колеса является главным управляющим фактором.

2. Степень влияния количества технологических проходов червячной фрезы  $n_{пр}$  как фактора при фрезеровании червячного колеса методом тангенциальной подачи меньше, но имеет существенное значение.

3. Влияние числа зубьев  $Z$  червячной фрезы, как фактора - незначительно по отношению к факторам  $N$  и  $n_{пр}$ , но их взаимное сочетание имеет, оказывает существенное влияние на точность механической обработки.

#### Библиографический список

1. Грицай І.Є. Прогресивний спосіб двохперехідного нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами та аналіз динаміки процесу // Науч. тр. - Кременчук: КДПУ, 2001. – Вып.1. – С. 418 - 422.

2. Ковришкін М.О., Садченко О.І. Підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутих профілем витка черв'яка // Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам – Одесса: ОНПУ, 2008.- Вып. 1/2008(29). – С.63–67.

3. Попова О.И., Попова М.И., Печенкина Л.С., Демидов А.В. Инструментальное обеспечение изготовления червячных колес редукторов энергетической промышленности. В сборнике: Альтернативная и интеллектуальная энергетика Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 51-53.

4. Греков М.Э., Фомин Ю.Г., Комиссаров И.И., Демидов А.В., Петрова И.В. Динамическая модель прохождения неровности в отжиге типа "ОТ". Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2012. № 3 (339). С. 96-100.

5. Радченко С. Г. Математическое моделирование технологических процессов в машиностроении. – К.: ЗАТ «Укрспецмонтажпроект», 1998. – 274 с.

#### References

1. Hrytsay Progressive method of two-transition cylindrical gears by worm-cutters and the analysis of process dynamics//Nauch. Tr. -Kremenchuk: KSPU, 2001. -1. – P. 418-422.

2. Kovryshkin m. O., Sadchenko o. I. Improvement of the accuracy of machining of worm-wheel gears with concave profile of the twisted worm//Nauchny and Proizvodstvenno-Prakticheskyy a leader in tehnychevny and Estestvenny Sciences-Odessa: ONPU, 2008-vyp. 1/2008 (29). – P. 63 – 67.

3. Popova O.I., Popova M.I., Pechenkina L.S., Demidov A.V. Instrumental support for the manufacture of worm wheels gearboxes of the energy industry. In the collection: Alternative and Intelligent Energy Materials of the International Scientific and Practical Conference. 2018. S. 51-53.

4. Grekov M.E., Fomin Y.G., Commissioners I.I., Demidov A.V., Petrova I.V. Dynamic model of the passage of irregularities in the press of the type "OT." News of higher education institutions. The technology of the textile industry. 2012. No 3 (339). S. 96-100.

5. Radchenko S.G. Mathematical modeling of technological processes in mechanical engineering. - K.: Ukrspecmontageproject, 1998. - 274 s.

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доцент кафедры авто-  
матизированного оборудования машино-  
строительного производства А.В. Демидов*

*Магистрант кафедры автоматизирован-  
ного оборудования машиностроительного  
производства У.Махжуб*

*Канд. техн. наук доцент кафедры автома-  
тизированного оборудования машино-  
строительного производства О.И. Попова*

*Канд. техн. наук доцент кафедры автома-  
тизированного оборудования машино-  
строительного производства М.И. Попова*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(960) 101-13-68  
e-mail: dontcray@mail.ru*

*Voronezh State  
Technical University*

*Kand. Tech. Associate Professor  
of Automated Machinery*

*A.V. Demidov*

*Master of the Department of Automated Engi-  
neering Equipment*

*O. Mahjoub*

*Kand. Tech. Associate Professor  
of Automated Machinery Equipment*

*O.I. Popova*

*Kand. Tech., Assistant Professor of Automated  
Machinery Equipment*

*M.I. Popova*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(960) 101-13-68  
e-mail: dontcray@mail.ru*

А.В. Демидов, У. Махжуб, О.И. Попова, М.И. Попова

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС**

В статье рассмотрен вопрос повышения точности механической обра-  
ботки червячных колес и проведено 3D моделирование обработки червячно-  
го колеса, на основе использования червячных фрез с разделенным профи-  
лем начального контура.

**Ключевые слова:** инструмент, точность механической обработки, фрезерование, червячная фреза.

A.V. Demidov, O. Mahjoub, O.I. Popova, M.I. Popova

## **WAYS TO IMPROVE THE ACCURACY OF MACHINING WORM WHEELS**

The article discusses the issue of improving the accuracy of mechanical pro-  
cessing of worm wheels and conducted 3D modeling of the treatment of the worm  
wheel, based on the use of worm cutters with a split profile of the initial contour.

**Keywords:** tool, mechanical precision, milling, worm cutter.

Для современного машиностроения характерна тенденция непрерывного повышения  
уровня автоматизации с возможностью быстрой переналадки на выпуск новых более совер-  
шенных машин без больших затрат и в короткий срок, что обеспечивает увеличение произ-  
водительности.

Для выполнения этих требований, прежде всего, нужно по возможности обеспечить  
универсальность всех технических и технологических средств производства: оборудования,  
оснастки, режущих и измерительных инструментов.

Повышению универсальности режущих инструментов для формообразования в по-  
следние годы способствовало расширение использования многогранных неперетачиваемых  
режущих пластин и унифицированных наборов и комплектов инструментов, которые обес-  
печивают взаимозаменяемость и быструю переналадку. Что касается сложных фасонных ин-  
струментов, то вопрос повышения их универсальности решается более трудно и медленно. К  
таким инструментам относятся и червячные фрезы.

Современные требования к техническому уровню и качеству машин выдвигают актуальные задачи повышения точности формообразования. Для обеспечения точности и сокращения простоев дорогих зубофрезерных станков с ЧПУ нужна высокая стойкость металлообрабатывающих инструментов.

В машиностроении показатели качества изделий тесно связаны с точностью обработки деталей машин. При разработке современных металлорежущих станков вопрос повышения точности, как отдельных механизмов, так и станка в целом, имеет большое значение и является актуальным.

Механическая обработка червячных колес до восьмой степени точности осуществляется червячными фрезами класса точности А обычных габаритных размеров (табл.1).

Таблица 1

Станок и инструмент для нарезания червячных зубчатых колес различной степени точности

Степень точности червячных колес $m = 0,3 \dots 25$ мм	Класс точности станка	Класс точности червячной фрезы
3	С	-
4	А	-
5	В	ААА
6	П	ААА
7	Н	АА
8	Н	А

Для механической обработки более точных колес необходимо воспользоваться повышенным классом точности станка и червячными фрезами класса точности АА и ААА с большим внешним диаметром (табл. 2). Нужно отметить, что в обработке червячного колеса это отражается негативно, поскольку увеличение диаметра червячной фрезы приводит к увеличению радиуса кривизны в продольном сечении и снижению в червячном зацеплении в процентном отношении пятна контакта и ее разрыва.

Таблица 2

Сравнительный анализ параметров червячных фрез

Параметры	Обозначение	Фреза ГОСТ 9324-80Е кл. т А	Червячная фреза с заборным конусом кл. т АА	Фреза с разделенным профилем инструментальной рейки кл.т А
1	2	3	4	5
Модуль	$m$	3	3	3
Диаметр	$d_a$	90	58,5	58,5
Количество зубьев	$Z_f$	10	9	12
Шаг в нормальном сечении	$P_n$	9,425	9,425	9,425
Шаг в осевом сечении	$P_0$	-	9,441	9,441
Угол наклона спирали	$\omega$	3°16'	3°22'	3°22'
Угол наклона профиля инструментальной рейки	$a_{np}$	20°	20°	20°
Количество заходов	-	1	1	1
Материал фрезы	-	Сталь АР6М5	Сталь Р6М5	Сталь Р6М5

При разработке новых способов формообразования зубьев червячных колес для червячных передач необходимо использовать другие технологические приемы.

Точность обработки червячного колеса зависит от многих факторов: от точности и жесткости станка, точности червячной фрезы, усилий резания (геометрии резания и режимов обработки), точности параметров установки инструмента, точности заготовки.

Для повышения точности обработки червячного колеса используют способ радиальной подачи с последующей профилирующей обкаткой. То есть, сначала обработка идет наиболее производительным способом - радиальной подачей, а при достижении установленного межосевого расстояния - радиальная подача отключается и производится обкатка червячного колеса на полный оборот или несколько полных оборотов [1].

При тангенциальной подаче червячная фреза ввинчивается в заготовку, поэтому не происходит срезания рабочего профиля зубьев вблизи торцов нарезаемого червячного колеса, которое может иметь место при радиальной подаче стола с заготовкой и тем самым увеличивается точность механической обработки за счет уменьшения огранки профиля [1].

В условиях смешанной подачи червячное колесо обрабатывается методом радиальной подачи, а при достижении установленного межосевого расстояния радиальная подача выключается и включается тангенциальная подача. То есть, сначала обработка идет наиболее производительным способом радиальной подачи, а профилирование завершается наиболее точным способом тангенциальной подачи [1].

В процессе фрезерования зубьев червячного колеса тангенциальная подача обеспечивает большее количество профилирующих резов инструмента, обеспечивающие образование боковой поверхности зубьев червячного колеса. Чем меньше тангенциальная подача, тем больше профилирующих резов фрезы, тем меньше огранка поверхности зуба нарезаемого червячного колеса [2]. Но точность этих способов недостаточна. Одним из методов повышения точности зубофрезерования является уменьшение нагрузки в процессе обработки путем изменения схемы срезания припуска.

Наиболее известным и распространенным как в отечественной, так и в зарубежной практике способом зубофрезерования, позволяющим уменьшить нагрузку на верхние лезвия и распределить потоки стружки от вершинных и боковых лезвий, является схема резания, которая в червячных фрезах реализована путем поочередного резания (через зуб) вершинными и боковыми лезвиями [2]. На сегодня известны многочисленные варианты и разновидности конструкций червячных фрез с конструктивным отделением вершинных лезвий от боковых [2,3,4].

Анализ данной проблемы свидетельствует, что, несмотря на значительное количество известных вариантов модификаций червячных модульных фрез и широкий диапазон поисков их рациональных конструктивных и геометрических параметров, до сих пор еще не полностью реализованы основные цели этих исследований и не обеспечено существенное повышение точности обработки.

Параметры сечения срезов червячной фрезы принадлежат к основным характеристикам процесса зубофрезерования. В частности, от параметров срезов зависят:

- среднее значение силы резания и ее колебания на оборот фрезы;
- силы трения на передней и задней поверхностях лезвий;
- условия резания и рабочие кинематические углы червячной фрезы;
- работа, необходимая для устранения припуска и преодоление трения на поверхностях зубьев, тепловые потоки в тело инструмента, интенсивность нагрева и износа зубьев, устойчивость к износу червячной фрезы;
- переходные процессы формирования силы и температуры резания;

- интенсивность динамических нагрузок, упругие деформации и вибрации зубофрезерного станка.

На основании этого параметры сечения срезов червячной фрезы создают основу комплексного системного исследования процессов зубофрезерования.

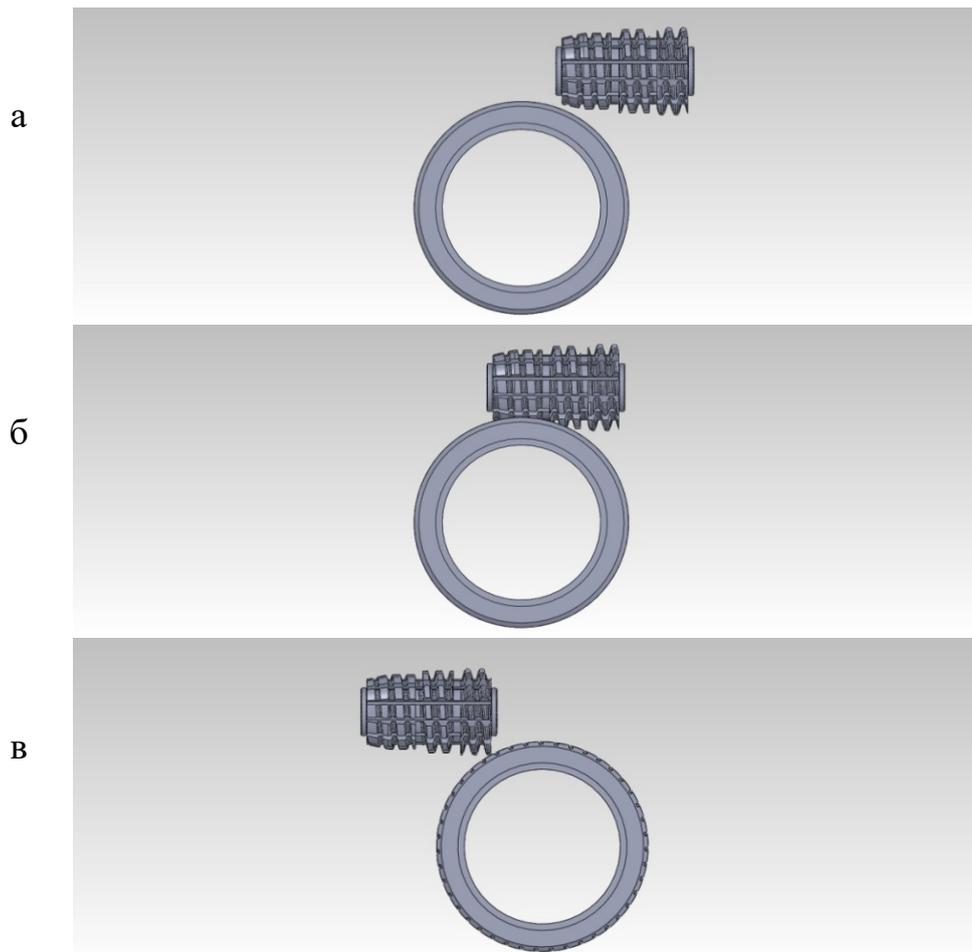
Основное преимущество червячных фрез с распределенным профилем начального контура заключается в том, что при неизменном внешнем диаметре фрезы за счет уменьшения высоты зубьев можно создать большее количество торцевых зубьев (реек). Это позволяет разгрузить фрезу благодаря перераспределению срезаемых слоев между большим количеством зубьев по кругу, а также, при одинаковой со стандартной червячной фрезой подачи на зуб, пропорционально росту количества реек увеличить осевую подачу и повысить производительность зубофрезерования [4,5].

Но в участии формирования зубьев колеса участвуют режущие кромки зубьев фрезы. В процессе резания инструмент изнашивается. Наиболее часто наблюдается износ инструмента вдоль режущих кромок. Суммарный периметр режущих кромок зубьев червячной фрезы модуля 5 равен 1500 мм. До полного износа, после которого проводят переточки, дорабатывает только 5..6 мм длины режущих кромок. Это вершины трех-четырех зубьев, расположенных ближе к центру заготовки. Причина такого неравномерного износа режущей части заключается в том, что отдельные участки режущих кромок загружены неравномерно. Поэтому рационально профиль рейки распределять не по высоте, а по сумме режущих кромок. Зубья для первого и второго, третьего и четвертого проходов выполнять на одном теле.

Однако реальные червячные фрезы по этому стандарту изготавливаются на базе архимедова червяка с нулевым передним углом. Известно, что для обработки бронзы рекомендуемые передние углы 15..17 градусов. То есть нулевой передний угол приводит к значительным вибрациям во время обработки, и значительного уменьшения периода стойкости инструмента. Уменьшение периода стойкости в свою очередь требует более частых заточек инструмента. Учитывая существенное увеличение вибраций и то, что червячные фрезы затылованы по архимедовой спирали, погрешность механической обработки, которая вызвана инструментом и процессом резания очень значительна. То есть на том же станке с той же схемой формообразования для повышения точности механической обработки необходимость исследовать инструмент и процесс резания на предмет уменьшения погрешностей.

При зубофрезеровании в условиях обкатки основную работу стружкообразования выполняют вершинные лезвия, на которые приходится более половины объема металла, который срезается у впадин между зубьями червячного колеса. У стандартной червячной фрезы ширина вершинного лезвия составляет 0,66т, а доля вершинного лезвия в периметре резания составляет 12,11%. В червячных фрезах с разделенным по высоте на две части профилем инструментальной рейки доля вершинного лезвия в периметре резания составляет 30,71%.

Таким образом, для повышения точности механической обработки червячного колеса для червячной передачи необходимо использовать идею деления профиля инструментальной рейки и при этом ликвидировать недостатки, связанные с изменением фрезы при разделении припуска в процессе обработки, а также ликвидировать погрешности при раздельном затыловании. Для визуализации и оценки получаемого профиля зубьев колеса было проведено 3D моделирование механической обработки червячного колеса фрезой с разделенным профилем инструментальной рейки (рис.1).



**Рис. 3D моделирование обработки червячного колеса:**  
а – врезание червячной фрезы; б – обработка червячного колеса зубьями первого прохода;  
в – выход червячной фрезы

Оптимальность перераспределения припуска достигается при максимальных переточках фрезы. Путем повышения точности механической обработки служит обеспечение оптимальных режимов резания и правки инструмента.

### Выводы

1. Для повышения точности механической обработки червячных колес необходимо использовать червячные фрезы с перераспределенным припуском из условия одинаковой длины режущих кромок.
2. Также необходимо обеспечить передние углы отличных от нуля градусов, что позволит уменьшить вибрации и приведет к повышению точности изготовления.

### Библиографический список

1. Справочник молодого зуборезчика. Сильвестров Б.Н., М.: Высш. школа, 1981–199 с, ил.
2. Шавлюга Н.И. Расчет и примеры наладок зубофрезерных и зубодолбежных станков. Л: Машиностроение, 1978 – 168 с.

3. Грицай І.Є. Прогресивний спосіб двохперехідного нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами та аналіз динаміки процесу // Науч. тр. - Кременчук: КДПУ, 2001. – Вып.1. – С. 418 - 422.

4. Ковришкін М.О., Садченко О.І. Підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутим профілем витка черв'яка // Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам – Одесса: ОНПУ, 2008.- Вып. 1/2008(29). – С.63–67.

5. Попова О.И., Попова М.И., Печенкина Л.С., Демидов А.В. Инструментальное обеспечение изготовления червячных колес редукторов энергетической промышленности. В сборнике: Альтернативная и интеллектуальная энергетика Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 51-53.

#### References

1. The sprite of a young toothpick; В. Silvestrov, М.: School. School, 1981 – 199 s, IL.

2. Shavluga NI Calculation and examples of setting up tooth-cutter and dental machines. L: Mechanical Engineering, 1978 - 168 s.

3. Hrytsay Progressive method of two-way cylindrical toothed wheel cutter and the analysis of process dynamics//Nauch. Tr. -Kremenchuk: KSPU, 2001. -1. – P. 418-422.

4. Kovrishkin m. O., Sadchenko o. I. Improvement of accuracy of machining of worm wheel gears with concave profile of the twisted worm//Nauchnyj and Proizvodstvenno-Prakticheskyy a leader in tehnychevnyy and Estestvennyy Sciences-Odessa: ONPU, 2008-vyp. 1/2008 (29). – P. 63 – 67.

5. Popova O.I., Popova M.I., Pechenkina L.S., Demidov A.V. Instrumental support for the manufacture of worm wheels gearboxes of the energy industry. In the collection: Alternative and Intelligent Energy Materials of the International Scientific and Practical Conference. 2018. S. 51-53.

УДК 621.436.052.1

ООО "ОРМАТОН", г. Реутов, РФ  
инж., начальник отдела  
В.А. Дильдин  
+79858181427,  
«Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет  
(МАДИ)» г. Москва, РФ,  
проф., д.т.н., зав. кафедрой  
В.А. Зорин  
+79166382144, E-mail: [madi-dm@list.ru](mailto:madi-dm@list.ru)  
Доц., к.т.н. Е.А. Косенко,  
+79295971838

ООО "ORMATON", Reutov, RF  
eng., Head of department,  
V.A. Dildin,  
+79858181427,  
«The Moscow automobile  
and road state  
technical university (MADI)» Moscow, RF,  
Professor, Dr. of Science, Head of department  
V.A. Zorin  
+79166382144, E-mail: [madi-dm@list.ru](mailto:madi-dm@list.ru)  
PhD, E.A. Kosenko,  
+79295971838

В.А. Дильдин, В.А. Зорин, Е.А. Косенко

### **ЧЕТЫРЁХТАКТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С КРИВОШИПНО-РЫЧАЖНЫМ МЕХАНИЗМОМ**

В статье предлагается оригинальное конструктивное решение двигателя внутреннего сгорания с кривошипно-рычажным механизмом преобразования поступательного движения во вращательное. Последовательное чередование рабочих тактов в цилиндре осуществляется за два оборота коленчатого вала. Предложенная конструкция обеспечивает увеличение тактов «расширения» и «выпуска» по сравнению с тактами «впуска» и «сжатия», что характерно для двигателя с продолженной степенью расширения.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, кривошипно-рычажный механизм, Дизель.

V.A. Dildin, V.A. Zorin, E.A. Kosenko

### **THE FOUR-CYCLE INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH THE CRANK-LEVER MECHANISM**

In article the original constructive solution of the internal combustion engine with the crank-lever mechanism of transformation of progress to rotary is proposed. Consecutive alternation of working timing periods in cylinder is carried out for two turns (turnovers) of bent shaft. The offered design provides increase in timing periods of «expansion» and «release» in comparison with timing periods of «admission» («intake») and «compression» that is characteristic of the engine with the continued extent of expansion.

**Keywords:** internal combustion engine, crank-lever mechanism, Diesel.

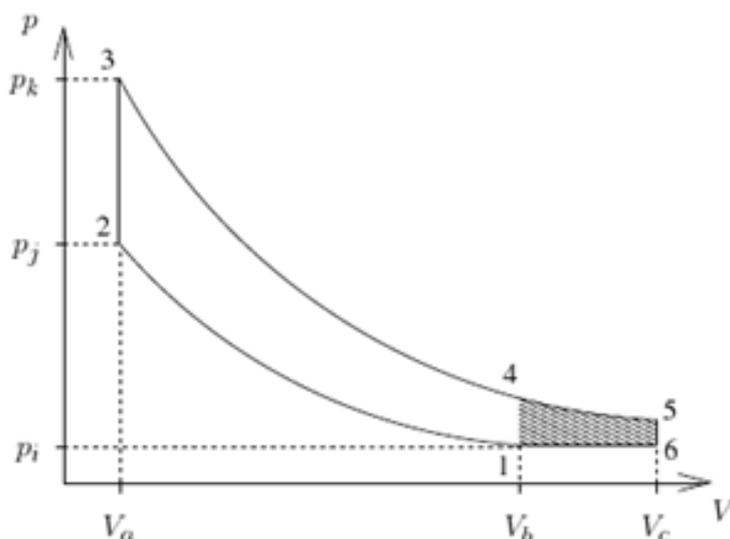
Четырёхтактные поршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС) постоянно модернизируются, в первую очередь, по экологическим показателям в соответствии с международными нормами, так как по умолчанию общепризнано, что энергетические параметры достигли практического максимума, который определяется совершенством

рабочего процесса смесеобразования и сгорания, а также минимизацией механических потерь, неизбежных в любом технически сложном устройстве.

В настоящее время улучшение всех параметров рабочего процесса ДВС направлено, в основном, на развитие гибко управляемых систем топливоподачи и на достижение идентичности протекания процессов в каждом цилиндре многоцилиндровых энергетических установок.

Кинематической основой четырёхтактных поршневых ДВС является кривошипно-шатунный механизм (КШМ), конструкция которого практически остаётся неизменной в течение последних 150-лет [1, 2].

В статье предлагается оригинальное конструктивное решение ДВС, с кривошипно-рычажным механизмом преобразования поступательного движения во вращательное, при последовательном чередовании рабочих тактов в цилиндре за два оборота коленчатого вала, причём такты “расширения” и “выпуска” являются в нём увеличенными, в сравнении с тактами “впуска” и “сжатия” (двигатель с продолженной степенью расширения).



**Рис. 1.** P-V диаграмма ДВС с КШМ (1-2-3-4) и ДВС с продолженной степенью расширения (1-2-3-4-5-6)

Полезная работа, совершаемая ДВС с традиционным КШМ – соответствует площади, ограниченной линией 1-2-3-4 P-V диаграммы обратимого термодинамического цикла ДВС на рис.1, где по оси ординат отложены значения  $P$  – давления в цилиндре;  $p_i$  – давление соответствующее началу такта “сжатие”;  $p_j$  – давление соответствующее концу такта “сжатие”;  $p_k$  – максимальное давление в цилиндре после возгорания топлива; по оси абсцисс –  $V$ , рабочий объём цилиндра;  $V_a$  – объём камеры сгорания, соответствует положению поршня в ВМТ;  $V_b$  – рабочий объём цилиндра ДВС с КШМ, соответствует положению поршня в НМТ;  $V_c$  – рабочий объём цилиндра ДВС с продолженной степенью расширения, соответствует положению поршня в НМТ при такте “рабочий ход”. Кривая 1-2 – процесс сжатия воздушного заряда, одинаков для ДВС с КШМ и ДВС с продолженной степенью расширения. Кривая 3-4 – процесс расширения рабочих газов для ДВС с КШМ. Кривая 3-6 – процесс расширения рабочих газов для ДВС с продолженной степенью расширения.

Полезная работа ДВС с продолженной степенью расширения, соответствует площади, ограниченной линией 1-2-3-4-5-6 P-V диаграммы на рис.1, где добавленная полезная работа равна площади, описанной кривыми 4-5-6-1. Таким образом – величина полезной работы увеличивается, что повышает тепловую эффективность такого двигателя и, как следствие, обеспечивает более высокую его экономичность. Кроме этого, в нём снижается термическая

напряженность деталей, поскольку часть энергии рабочего тела превращается в дополнительную работу, а не отводится в систему охлаждения. По этой причине, ДВС с продолженной степенью расширения называют двигателями с внутренним охлаждением. Такому ДВС также присуще снижение уровня токсичных выбросов в результате уменьшения температуры деталей.

Преимущества ДВС, работающих по циклу с продолженной степенью расширения, имеют идентичную основу превосходствам, получаемым при сравнении ДВС, работающего по циклу Дизеля с ДВС, работающего по циклу ОТТО, где цикл первого, обеспечивает большую степень расширения рабочего тела, по отношению к циклу второго.

Использование механизма, обеспечивающего продолженную степень расширения, предпочтительнее в ДВС по циклу Дизеля, обладающего возможностью выработки большего количества полезной работы по сравнению с ДВС с воспламенением от искры, что гарантирует повышение его эффективности.

Известные до сих пор механизмы Джеймса Аткинсона и Ральфа Миллера, обеспечивающие большую степень расширения рабочего тела в ДВС, существенных преимуществ не продемонстрировали в силу присущих им отрицательным качествам:

- нестабильность работы;
- значительно больший удельный вес на единицу получаемой мощности;
- отсутствие возможности работы ДВС по циклу Дизеля.

Предлагаемая к рассмотрению кинематическая схема кривошипно-рычажного механизма преобразования поступательного движения во вращательное [1], приведённая на рис.2, позволяет реализовать ДВС с продолженной степенью расширения, стабильно работающий как по циклу ОТТО, так и по циклу Дизеля во всех диапазонах нагрузки и оборотов коленчатого вала.

Несомненным достоинством этого механизма, является наличие регулируемого звена, что делает возможным его исполнение без ужесточения требований к степени точности его деталей, количество которых в 2,5 раза больше, чем в обычном КШМ. Снижение точности изготовления деталей ДВС позволит уменьшить стоимость их производства.

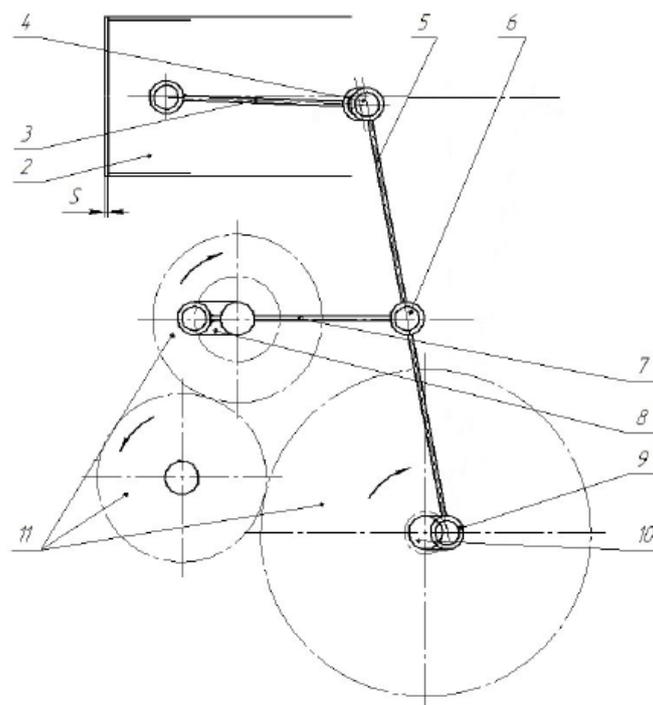


Рис. 2. Кинематическая схема кривошипно-рычажного механизма ДВС

ДВС на основе предлагаемого механизма функционирует следующим образом: поршень **2**, под воздействием расширяющихся газов, давит через поршневой шатун **3** на фиксируемый эксцентриковый шарнир **4**, сочлененный с рычагом-коромыслом **5**, поворачивая его относительно оси, принадлежащего ему опорного конца **9**, который, будучи шарнирно связанным с эксцентриковым валом **10**, вращающимся синхронно с коленчатым валом **8**, благодаря шестерённому приводу **11**, совершает синхронное круговое движение с угловой скоростью в два раза меньшей, чем угловая скорость коленчатого вала **8**, одновременно с этим шарнир с осью **6**, расположенный в корпусе рычага-коромысла **5**, через шатун **7** воздействует на кривошип коленчатого вала **8**, - проворачивая его для совершения работы, и в тоже время, сообщая ему запас энергии вращения для осуществления трёх последующих тактов рабочего процесса ДВС. При этом, весь рычаг-коромысло **5**, совершает сложное плоско-параллельное движение, которое передаётся через фиксируемый эксцентриковый шарнир **4** и поршневой шатун **3** - поршню **2**, обеспечивая ему необходимую, специально подобранную кинематику движения на такте "выпуска", ход от верхней мертвой точки (ВМТ) к нижней мертвой точке (НМТ) он совершает в соответствии с рабочим объёмом цилиндра, также, как и на такте "сжатия", при ходе от НМТ к ВМТ. Однако на такте "рабочий ход" поршень **2** проходит больший путь, то есть степень расширения в этом случае существенно превышает степень сжатия, что повышает индикаторный коэффициент полезного действия (КПД). Такт "выпуска" отработавших газов, следующий за "рабочим ходом", соответственно равен по величине "рабочему ходу".

Конкретная величина превышения такта "рабочий ход"/"выпуск" над тактом "впуск"/"сжатие" определяется радиусом вращения смещённой шейки эксцентрикового вала **10** и соотношением размеров плеч приложения нагрузки на рычаге-коромысле **5**, что подбирается для каждого типа двигателя индивидуально, в зависимости от типа рабочего процесса, его назначения и т.д. Величина эксцентриситета может иметь ограничения только по предельно допустимым удельным нагрузкам в подшипниках шарнирных соединений силовых звеньев преобразующего механизма, с учётом общих габаритов двигателя, которые зависят от его назначения.

Фиксируемый эксцентриковый шарнир **4**, или регулируемое звено, посредством которого поршневой шатун **3** соединён с рычагом-коромыслом **5**, - представляет собой проворачивающийся эксцентрик с зажимным приспособлением. Положение эксцентрика после манипуляций по настройке зазора **S** между днищем поршня и головкой блока цилиндров, минимально возможного для Дизеля и оптимального для ОТТО, фиксируется зажимным приспособлением в нужном угловом положении при сборке двигателя, а также в процессе его эксплуатации, по мере необходимости. Наличие регулируемого звена в механизме преобразования позволяет исключить влияние точности изготовления линейных размеров деталей силовых звеньев на величину зазора **S**, что значительно упрощает их производство, и делает ДВС, например Дизель, с предлагаемым механизмом преобразования более технологичным, в сравнении с Дизелями аналогичной размерности на основе классического КШМ.

Запатентованная кинематическая схема сама по себе не выявляет возможности её реализации.

Для определения показателей продолженного такта "расширения" был проведен ориентировочный расчёт добавленной полезной работы с помощью известной методики [5]. Результаты расчёта показали, что при 50% увеличении такта "расширения", соответствующего рабочему объёму цилиндра, ориентировочный прирост полезной работы составил 12%. Естественно, что полученные значения являются приблизительными и требуют проведения более глубоких теоретических и экспериментальных исследований.

Описанная выше кинематическая схема кривошипно-рычажного механизма преобразования поступательного движения во вращательное была положена в основу эскизного проекта дизельного двигателя грузового автомобиля. За основу предлагаемой

эскизной компоновки были приняты параметры рабочего объёма цилиндра двигателя КАМАЗ - 740. Это решение позволяет унифицировать, а следовательно и удешевить изготовление опытного образца ДВС с продолженной степенью расширения с Дизелем, находящимся в серийном производстве, по следующим параметрам:

- рабочему процессу (камере сгорания, впускному и выпускному каналам в головке блока цилиндров, деталям механизма газораспределения и фазам работы клапанов);
- головке блока цилиндров в сборе;
- конструкции газового стыка;
- деталям герметизации цилиндра в нижней его части;
- поршневым кольцам и канавкам для них в головке поршня;
- поршневому пальцу;
- узлам системы смазки.

Диаметр цилиндра – 120мм. Ход поршня при тактах “впуска” и “сжатия” -120мм. Ход поршня при тактах “расширения” и “выпуска” -180мм.

Положение оси коленчатого вала и величина его кривошипа, а также длина шатуна и соотношение размеров плеч рычага-коромысла подобраны специальным образом, как и положение эксцентрикового вала для вращения опорного конца рычага и обеспечения эксцентриситета эксцентрика.

Эксцентриковый вал привода опорных концов рычагов совмещен с функцией кулачкового вала газораспределительного механизма, поскольку он вращается с угловой скоростью в 2 раза меньшей, чем коленчатый вал. Это решение позволило значительно упростить конструкцию механизма привода 2-х кулачковых/эксцентриковых валов двигателя и уменьшить общее количество деталей.

Конструкция вращающегося опорного конца рычага выполнена разъёмной для обеспечения собираемости механизма.

Блок цилиндров имеет нижнюю плиту. Разъём между этими деталями проходит по оси кулачковых/эксцентриковых валов и служит для обеспечения собираемости механизма. Конструкция плиты может быть различной.

Для уравнивания механизма преобразования такты работы пары цилиндров правого и левого рядов должны совпадать. В результате, эти цилиндры будут работать как один цилиндр, а работа восьмицилиндрового двигателя будет уподобляться работе четырёхцилиндрового рядного двигателя с чередованием вспышек через 90 градусов угла поворота коленчатого вала, при этом полностью уравновешенного.

Конструкция коленчатого вала, в сравнении с аналогичной деталью традиционного КШМ, значительно прочнее из-за небольшого кривошипа, величина которого определяется соотношением размеров рычага-коромысла. Однако по этой же причине значительно возрастает усилие, действующее на его шейки, что неизбежно ведёт к увеличению размеров подшипников, но это “препятствие” не является проблемой, поскольку для увеличения их размеров имеется достаточно пространства.

Средняя скорость поршня увеличивается, но в связи с уменьшением температуры деталей цилиндропоршневой группы, можно предположить, что увеличение скорости не окажет критического влияния на работоспособность цилиндро-поршневой группы.

Поперечное сечение предлагаемого двигателя вписывается в габариты маховика КАМАЗ-740, что позволяет судить о соответствии его массово-габаритных показателей с существующим двигателем и делает возможным предположение о том, что компоновка силового агрегата на раме автомобиля не претерпит существенных изменений.

Расчёт температуры выхлопных газов не проводился. Однако очевидно, что значение температуры будет ниже относительно показателя этого параметра у существующего ДВС. На этом основании можно предположить, что мощность, потребляемая агрегатами системы охлаждения: водяным насосом и вентилятором - будет меньше.

## Выводы

Производство ДВС с продолженной степенью расширения, может быть успешно реализовано с помощью технологических процессов, применяемых в современном двигателестроении. Технологическая оценка предлагаемого ДВС в целом позволяет сделать обоснованное предположение о том, что производство деталей двигателя и его сборка не будет капиталоемким и не потребует существенной перестройки существующих производственных мощностей.

Авторы полагают, что Дизель с продолженной степенью расширения, обладает неиспользованным ранее резервом и является, по сути, дальнейшим эволюционным шагом развития поршневых ДВС в рамках существующих производственных технологий и материалов.

Авторы убеждены, что ДВС, выполненные по запатентованной кинематической схеме, имеют потенциал, для выявления которого необходимы дополнительные исследования, в том числе в инжиниринговых компаниях с мировым именем.

Статья подготовлена в рамках научных исследований по проекту N2019-1342.

## Библиографический список

1. Патент на изобретение № 2704510, Российская Федерация, МПК F01B 9/02 (2006/01), F02B 75/32 (2006/01) Двигатель внутреннего сгорания./ Дильдин В. А., Зорин В.А., Косенко Е.А./ Патентообладатель: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ).
2. Зорин, В.А. Надёжность механических систем М: Изд-во «ИНФРА-М», 2015. – 380 с.
3. Автомобильные двигатели: учебник для студ. высш. учеб. заведений/ [М.Г.Шатров, К.А.Морозов, И.В.Алексеев и др.]; под ред. М.Г. Шатрова. — 2-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2011. — 464 с.
4. Баширов Р.М. Автотракторные двигатели: конструкция, основы теории и расчета. М.: ЭБС Лань, 2017.- 336 с.
5. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/[Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.]; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. — 4-е изд. перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.

## References

1. Patent for invention No. 2704510, Russian Federation, MPK *F01B 9/02* (2006/01), *F02B 75/32* (2006/01) Internal combustion engine. / Dildin V. A., Zorin VA., Kosenko E. A. / Patent holder: Moscow automobile and road state technical university.
2. Zorin, V.A. Reliability of mechanical systems. M: INFRA-M publishing house, 2015. – 380 pages.
3. Automobile engines: textbook for student. vyssh. studies. institutions / [M.G. Shatrov, K.A. Morozov, I.V. Alexeev and other]; under edition of M.G. Shatrov.— the 2nd prod., ispr. — M.: Publishing Akademiya center, 2011. — 464 c.
4. Bashirov R.M. Autotractor engines: construction, bases of the theory and calculation. M.: EBS Lan, 2017. - 336 pages.
5. Internal combustion engines: The theory of the piston and combined engines. The textbook for technical colleges in "Internal combustion engines" / [D.N. Vyubov, N.A. Ivashchenko, V.I. Ivin, etc.]; under the editorship of A.S. Orlin, M.G. Kruglov. — 4 prod. reslave. and additional — M.: Mechanical engineering, 1983. – 372 pages.

УДК 621.87

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики  
имени профессора Н.А. Ульянова  
Р.А. Жилин,  
Канд. техн. наук, доцент кафедры  
строительной техники и инженерной  
механики имени профессора Н.А. Ульянова  
Ю.И. Калинин,  
Студент дорожно-транспортного  
факультета  
А.С. Корчагин  
Россия, г. Воронеж*

*Voronezh State  
Technical University  
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the chair  
of construction machinery and engineering me-  
chanics of a name of professor N.A. Ulyanov  
R.A. Zhilin,  
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the chair  
of construction machinery and engineering me-  
chanics of a name of professor N.A. Ulyanov  
Y.I. Kalinin,  
Students of the Road and Transport  
Faculty  
A.S. Korchagin  
Russia, Voronezh*

Р.А. Жилин, Ю.И. Калинин, А.С. Корчагин

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ШАГАЮЩИХ ЭКСКАВАТОРОВ**

Представлено описание модели шагающего ходового оборудования кривошипно-шарнирного экскаватора с треугольной рамой.

**Ключевые слова:** шагающий экскаватор, кинематическая схема ходового оборудования

R.A. Zhilin, Y.I. Kalinin, A.S. Korchagin

## **MODELLING OF THE RUNNING EQUIPMENT WALKING DREDGES**

The description of model of the kinematic scheme of the walking running equipment krivoshipno-sharnirnogo a dredge with a triangular frame is presented.

**Keywords:** walking dredge, kinematic scheme of the running equipment.

Шагающие механизмы передвижения экскаваторов имеют в определенных условиях специфические преимущества перед гусеничными и колесными видами движителей. Использование шагающего устройства для некоторых видов экскаваторов (драглайнов) позволяет проводить вскрышные работы на грунтах с довольно низкой несущей способностью. Экскаваторы с другими видами ходового оборудования оказывают значительно большее удельное давление на опорную поверхность, что приводит к ограничениям при использовании в карьерах. Шагающий механизм делает удельное давление на грунт со стороны всего агрегата сравнительно невысоким. При непосредственной экскавации грунта опорная база шагающего экскаватора остается неподвижной, распределяя массу всего экскаватора на большую площадь.

Шагающие экскаваторы (ЭШ) с оборудованием драглайна максимально реализуют свои возможности на экскавации легких и средней прочности пород, таких как песчаник,

глина, сланцевые породы, мягкий известняк. Эти экскаваторы могут черпать предварительно взорванные крепкие породы (граниты, базальты, прочные известняки).

При перемещении вынудой породы непосредственно в отвал при глубоком черпании (рис. 1), при строительстве сложных гидротехнических сооружений и каналов, когда скорость перемещения экскаватора совершенно не существенна, шагающий механизм передвижения обладает наибольшим преимуществом.

При необходимости ЭШ перемещается с помощью опорных лыж, которые на короткое время становятся точками опоры. Шагающее ходовое оборудование может быть реализовано различными способами, но всегда состоит из одинаковых синхронно работающих механизмов шагания, расположенных симметрично относительно продольной оси экскаватора, поворотной части и опорной рамы (базы). Механизм шагания включает в себя опорные лыжи (башмаки), механизм перемещения и привод.

Именно такой способ перемещения обозначил название машины, как *шагающая*. Непрерывный ход, характерный для гусеничной и колесной техники, здесь заменён дискретным.



Рис. 1. ЭШ при бестранспортной системе разработки карьера

Движение шагающего экскаватора реализуется в следующем порядке:

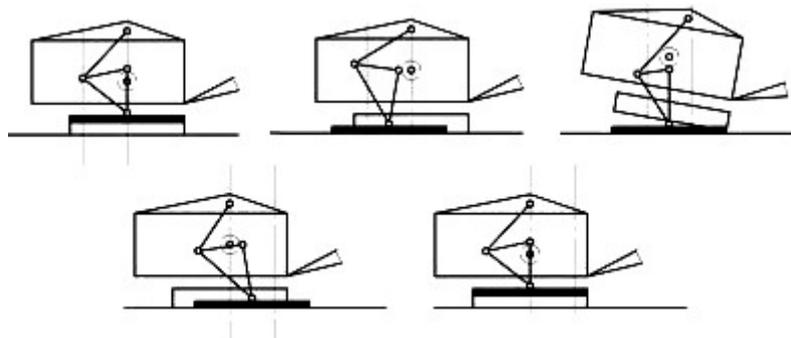
- выполняются подготовительные мероприятия (опустошается ковш, стрела устанавливается по вектору движения);
- приподнятые при выполнении работы башмаки экскаватора опускаются на грунт в направлении шага;
- центр тяжести агрегата смещается в сторону лыж, приподнимая опорное шасси, смещение экскаватора происходит в направлении башмаков;
- база опускается, фиксируясь на грунте;
- процесс повторяется до прибытия ЭШ в место назначения, после этого лыжи поднимаются, переводя спецтехнику, рабочее положение;
- при необходимости изменения направления движения, лыжи поднимаются, поворотный механизм разворачивает ЭШ на опорной раме и движение продолжается.

В среднем на один шаг экскаватор затрачивает 55 секунд. Длина одного шага составляет около 1 метра. Таким образом, скорость перемещения шагающего экскаватора 60–80 м/ч. Наибольшая расчетная скорость может составлять до 200 м/ч.



**Рис. 2.** ЭШ кривошипно-шарнирный с треугольной рамой механизма шагания

Кинематическая схема механизма шагания рассматриваемого экскаватора показана на рис. 3.

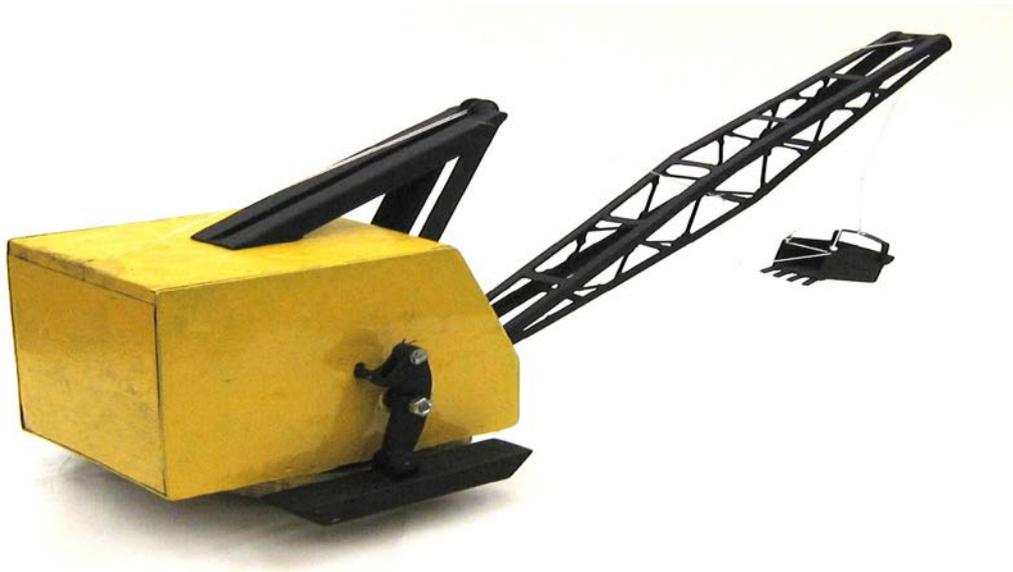


**Рис. 3.** Кинематика шагания кривошипно-шарнирного механизма с треугольной рамой

Для учебных целей была разработана и изготовлена модель шагающего экскаватора, представленная на рисунке 4. Длина модели составляет около 70 см.

Модель представляет собой рамную платформу, на которой смонтирован ходовой механизм шагания, двуногая стойка, стальная четырехгранная ферменная стрела. С левой стороны модели расположена рукоятка ручного привода ходовой части. Опорная база, расположенная в нижней части платформы, выполнена в виде цилиндра небольшой высоты с центральным шарнирным поворотным механизмом.

Платформа с механизмом шагания закрыта металлическим капотом. Модель снабжена ковшом с канатной подвеской по типу драглайна.



**Рис. 4.** Модель ЭШ с кривошипно-рычажным четырехзвенным механизмом шагания

Механизм шагания смоделирован на основе кривошипно-рычажного четырехзвенного механизма с опорными лыжами. Механизм перемещения реализован с ручным приводом. Кинематика движения механизма шагания модели подобна ходу шагающего экскаватора аналогичной схемы.

#### Библиографический список

1. Дроздова Л.Г. Одноковшовые экскаваторы: конструкция, монтаж и ремонт: учеб. Пособие / Л.Г. Дроздова, О.А. Курбатова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 235 с.
2. Жилин Р.А., Щиенко А.Н., Раджабова Г.А., Перетрухин Д.С., Феденев А.А. Анализ кинематических схем шагающего ходового оборудования экскаваторов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2018. № 2. С. 121–125.
3. Железные динозавры: как шагают экскаваторы // Популярная механика №12, Декабрь 2002.
4. [Электронный ресурс]: <http://allspectech.com/stroitel'naya/jekskavatory/shagayushhie/vidy-i-osobennosti.html>.
5. [Электронный ресурс]: <https://maxi-exkavator.ru/articles/excavators/~id%3D3091>.

#### References

1. Drozdova L.G. Odnokovshovye dredges: a design, installation and repair: studies. The grant / L.G. Дроздова, О.А.Курбатов. – Vladivostok: Publishing house DVG TU, 2007. – 235 with.
2. Zhilin R. A, Shchienko A.N., Radzhabova G. A, Peretruhin D.S., Fedenev A.A. analys of kinematic schemes of the walking running equipment of dredges//the Scientific bulletin of the Voronezh state architecturally-building university. A series: High technologies. Ecology. 2018. № 2. With. 121–125.
3. Iron dinosaurs: as dredges//the Popular mechanics №12, December 2002 walk.
4. [Electronic resource]: <http://allspectech.com/stroitel'naya/jekskavatory/shagayushhie/vidy-i-osobennosti.html>.
5. [Electronic resource]: <https://maxi-exkavator.ru/articles/excavators/~id%3D3091>.

УДК 621.87

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики  
имени профессора Н.А. Ульянова  
Р.А. Жилин,  
Студенты дорожно-транспортного  
факультета  
А.С. Корчагин, Е.В. Дяченко, А.С. Бородкин  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 271-59-18  
e-mail: [zhilinr@yandex.ru](mailto:zhilinr@yandex.ru)*

*Voronezh State  
Technical University  
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the chair  
of construction machinery and engineering me-  
chanics of a name of professor N.A. Ulyanov  
R.A. Zhilin,  
Students of the Road and Transport  
Faculty  
A.S. Korchagin, E.V. Djachenko, A.S. Borodkin  
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 271-59-18  
e-mail: [zhilinr@yandex.ru](mailto:zhilinr@yandex.ru)*

Р.А. Жилин, А.С. Корчагин, Е.В. Дяченко, А.С. Бородкин

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ШЕСТИЗВЕННЫХ ШАРНИРНО-РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Описываются созданные в учебных целях физические кинематические модели шарнирно-рычажных механизмов, предназначенные для проведения лабораторно-практических работ.

**Ключевые слова:** учебные физические модели, шарнирно-рычажные механизмы.

R.A. Zhilin, A.S. Korchagin, E.V. Djachenko, A.S. Borodkin

### **MODELLING ШЕСТИЗВЕННЫХ SHARNIRNO-LEVER MECHANISMS**

The physical kinematic models of sharnirno-lever mechanisms intended for carrying out of laboratory works created in the educational purposes are described.

**Keywords:** educational physical models, sharnirno-lever mechanisms.

Одними из самых древних механизмов созданных человеком были стержневые или рычажные. В их основе находится рычаг, выполняющий функцию расширения возможностей и продолжения рук человека. Но при этом рычажные механизмы воспроизводят не просто движения, которые может выполнять человек, а качественно меняют кинематические и силовые параметры.

Известно, что рычажными называют механизмы, звенья которых образуют кинематические цепи только с низшими кинематическими парами. Поэтому они достаточно технологичны и легко изготавливаются на обычных универсальных станках.

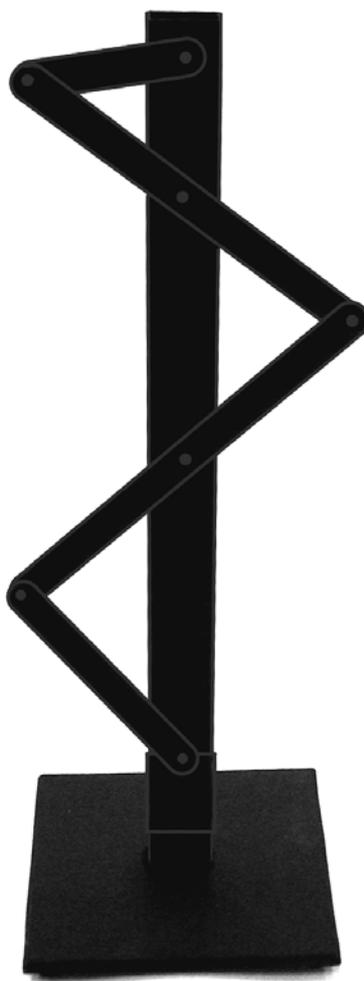
Создание физических, нормально функционирующих моделей позволяет качественно улучшить практические навыки изучения структуры, возможностей и методик создания реально работающих механизмов. Изготовление моделей механизмов развивает навыки конструкторского научно-технического мышления.

Моделирование механизмов преследует сразу несколько целей:

- ознакомление с принципами работы звеньев, входящих в механизм;
- приобретение навыков создания физических механизмов;
- дальнейшее использование созданных моделей механизмов в учебном процессе.

Изготовленные модели механизмов представляют собой шарнирные шестизвенники, образующие в основном кинематические пары 5-го класса. Все рассматриваемые механизмы имеют одну степень подвижности (имеют одну обобщённую координату). Некоторые звенья в кинематических цепях связаны не с одним, а с несколькими звеньями. В этом случае считается, что существует такое число кинематических пар, какое соответствует числу присоединённых к начальному звену звеньев. Такие рычажные механизмы играют важную роль при анализе и синтезе механизмов любых конструкций, поэтому этим видам механизмов следует уделять особое внимание.

Первая модель механизма является центральным кривошипно-ползунным механизмом с присоединенной двухкоромысловой группой (рис. 1). Указанный механизм интересен тем, что в нем присутствуют сразу два кинематически связанных коромысла. В зависимости от соотношения размеров коромысел изменяется длина хода и уровень силового воздействия ползуна.



**Рис. 1.** Модель двухкоромыслового механизма с вертикально двигающимся ползуном

В начале второй половины 19-го века великий русский математик Пафнутий Львович Чебышев в ряде статей заложил основы синтеза рычажных механизмов для точного и приближенного преобразования движения. Один из механизмов, описанный П.Л. Чебышевым

представлен на рисунке 2. Длины звеньев механизма удовлетворяют условиям:  $AB = CB = MB = 1$ ;  $MD = FD = 0,57$ ;  $EA = 0,54$ ;  $FC = 1,39$ ;  $CE = 1,33$ ;  $\beta = 90^\circ$ . Точка М шатуна 1 шарнирного четырехзвенного механизма EABC описывает симметричную шатунную кривую  $\alpha-\alpha$ . Звено 4 входит во вращательную пару М с шатуном 1 и во вращательную пару D со звеном 3, вращающимся вокруг неподвижной оси F. В механизме одному обороту кривошипа 2 соответствует один оборот звена 3 в противоположном направлении. Размеры звеньев изготовленной модели соответствуют аналогичным зависимостям (Рис. 3).

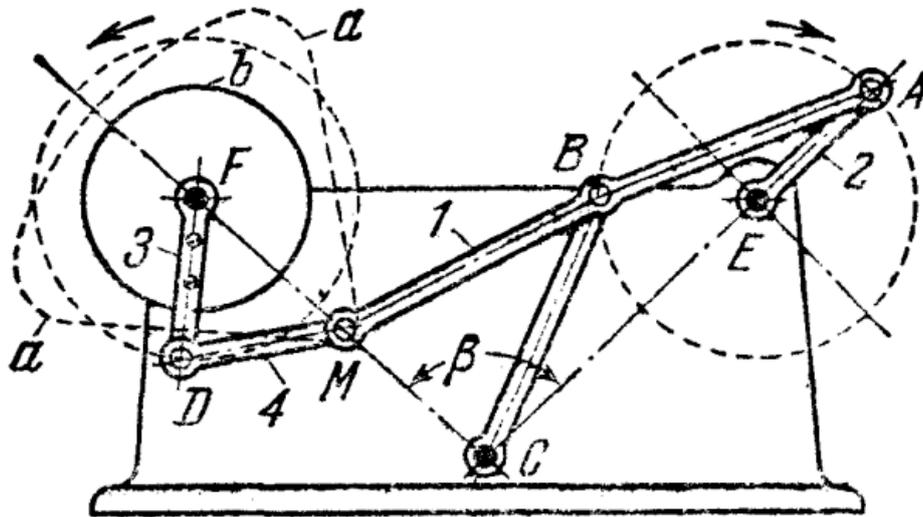


Рис. 2. Схема шестизвенного шарнирно-рычажного механизма Чебышева противовращательной рукоятки



Рис. 3. Модель шестизвенного шарнирно-рычажного механизма

Третий механизм (рис. 4) имитирует известный механизм с регулировкой хода выходного звена (рис. 5). Коромысло 4 шарнирного четырехзвенника GBCD имеет расширенную втулку а, охватывающую неподвижный эксцентрик 3. Коромысло 4 входит во вращательную пару E с шатуном 5, входящим во вращательную пару F с поршнем 2, скользящим в неподвижных направляющих р-р. При вращении кривошипа 1 поршень 2 движется возвратно поступательно. Перемещение поршня 2 регулируется поворотом эксцентрика 3, жестко закреп-

ляемого на оси *A* в различных положениях. В отличие от рассматриваемой схемы, в модели регулировка хода выходного звена осуществляется смещением центральной кинематической пары коромысла.

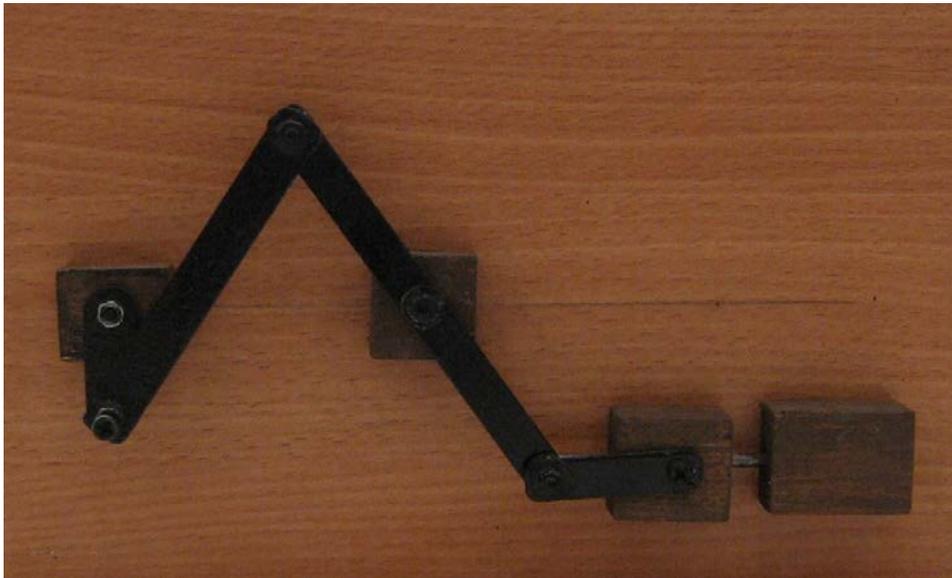


Рис. 4. Модель кривошипно-ползунного механизма

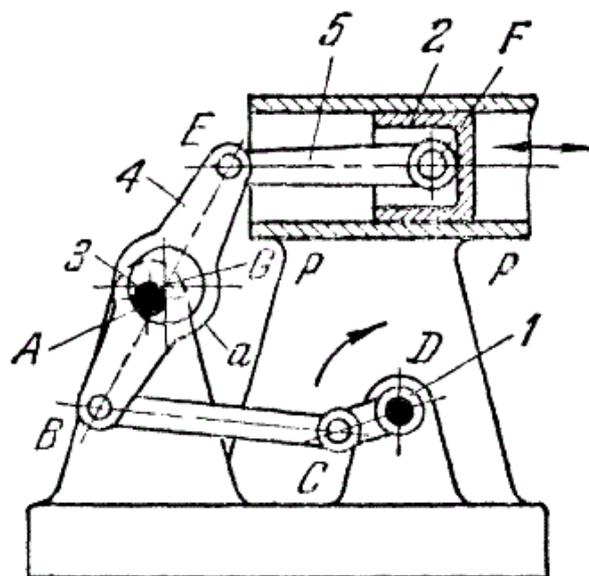


Рис. 5. Кривошипно-ползунный механизм с регулировкой хода выходного звена

Последняя модель (рис. 6) отличается от предыдущих схем тем, что в ней наряду с пятью одноподвижными кинематическими парами присутствует одна двухподвижная. Кинематическая пара, образованная ползуном и кулисой обладает двумя степенями свободы – ползун поступательно перемещается по кулисе, одновременно поворачиваясь вокруг своей центральной оси. Изготовление данной модели было сопряжено с трудностями определения размеров звеньев. Поэтому в данном механизме при сборке использовалась переменная длина звеньев.

Разработанные механизмы обеспечивают наглядную демонстрацию кинематических перемещений точек звеньев и могут быть использованы при проведении кинетостатических ис-

следований, а также должны обеспечить студентам, изучающим дисциплины «Теория механизмов и машин» и «Техническая механика», наглядные учебные пособия.



**Рис. 6.** Пятизвенный кривошипно-ползунный механизм

#### Библиографический список

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. Справочное пособие. В 7 томах — 2-е изд., переработанное. — М.; «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1979.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.: Наука. 2001 – 640 с.
3. Ассур Л. В. Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации. –М. : АН СССР, 1952. – 592 с.
4. Карелин В.С. Проектирование рычажных и зубчато-рычажных механизмов. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.

#### References

1. Artobolevsky I.I.mechanism in the modern technics. The handbook. In 7 volumes - 2 edition, processed. - M; "Science". The main edition of the physical and mathematical literature, 1979.
2. Artobolevsky I.I.theor of mechanisms and cars. M: the Science. 2001 - 640 with.
3. Assur of L. V.Issledovanie of flat rod mechanisms with the lowest steams from the point of view of their structure and classification. - TH.: AN the USSR, 1952. - 592 with.
4. Karelin V. S. Designing of lever and zubchato-lever mechanisms. - M: Mechanical engineering, 1986. - 184 with.

*Воронежский государственный технический университет*

*Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительной техники и инженерной механики имени профессора Н.А. Ульянова, В.А. Жулай;*

*Доцент кафедры строительной техники и инженерной механики имени профессора Н.А. Ульянова, к.т.н., доцент*

*В.Л. Тюнин;*

*Студенты дорожно-транспортного факультета Н.С. Жидких, А.А. Герасимов;*

*Россия, г. Воронеж, тел. 8(473) 277-01-29*

*Voronezh State Technical University*

*Dr.Sci.Tech., prof., head of the chair of building engineering and engineering mechanics named after Professor N.A. Ulyanova, V.A. Zhulai;*

*Associate professor of the chair of building engineering and engineering mechanics named after professor N.A. Ulyanova, Ph.D., associate professor V.L. Tyunin;*

*Students of the road and transport faculty N.S. Zhidkikh, A.A. Gerasimov;*

*Russia, Voronezh, tel. 8(473) 277-01-29*

В.А. Жулай, В.Л. Тюнин, Н.С. Жидких, А.А. Герасимов

## **ПРИМЕНЕНИЕ СДВОЕННЫХ КОЛЁС НА НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИНАХ**

Представлен анализ российских и зарубежных материалов по применению сдвоенных колёс на наземных транспортно-технологических машинах.

**Ключевые слова:** наземные транспортно-технологические машины, сдвоенные колёса, грунт.

V.A. Zhulai, V.L. Tyunin, N.S. Zhidkikh, A.A. Gerasimov

## **THE USE OF DOUBLE WHEELS ON GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES**

The analysis of Russian and foreign materials on the use of double wheels on land transport and technological machines is presented.

**Key words:** ground transport and technological machines, double wheels, soil.

Современные наземные транспортно-технологические машины (НТТМ) должны отвечать главному требованию – обладать высокой эффективностью. Одними из основных направлений повышения эффективности колесных НТТМ является увеличение производительности и снижение удельной энергоёмкости и удельного расхода топлива [1].

Самоходные колёсные НТТМ часто выступают в роли тягачей, которые при работе используют силу тяги, создаваемую колёсным движителем (КД). Преобразование крутящего момента на КД в силу тяги НТТМ осуществляется в процессе взаимодействия пневматических шин с грунтом.

В НТТМ применяется ходовое оборудование двух типов: колёсное и гусеничное. Колёсные машины обладают, по сравнению с гусеничными – бóльшим ресурсом, высокими транспортными скоростями, снижением металлоёмкости ходового оборудования и возможностью самостоятельно перебазироваться по дорогам общего пользования.

Главным недостатком колёсного ходового оборудования является невозможность использования сцепного веса, обусловленное небольшим пятном контакта колёс с опорной поверхностью [2, 3].

Одним из способов повышения силы тяги НТТМ является сдвигание ведущих пневматических колёс [4, 5]. В результате сдвигания ведущих колёс повышаются тяговые возможности машины, снижается удельный расход топлива и уплотняющее воздействие на почву.

В работе [4] лабораторно-полевыми и производственными испытаниями установлено, что с установкой сдвоенных колёс 21.3R24 на трактор ХТЗ-150К-09 максимальная сила тяги возрастает с 29,4 кН до 37,8 кН на поле, подготовленном под посев, на стерневом фоне соответственно с 39,8 кН до 47,9 кН, что увеличивает производительность агрегатов на посевах зерновых культур до 12 % при снижении расхода топлива на 9 %, уплотняющее воздействие на почву снижается с 62 до 46 кПа.

Так же в статье [5] приведена оценка установки сдвоенных шин на тракторе ХТЗ-150К-09 как одного из способов повышения эффективности работы пахотного агрегата на агрофоне со слабой несущей способностью. При установке сдвоенных шин буксование трактора уменьшается на 56,25%. Увеличение данного показателя можно объяснить увеличением площади пятна контакта колеса с опорной поверхностью (для левого борта) и увеличением давления внутри пятна контакта (для правого борта), а также увеличением коэффициента трения скольжения и трения покоя – увеличением касательной силы тяги. Уменьшение буксования приводит к увеличению скорости движения пахотного агрегата (на 10,81%), крюковой мощности (на 15,05%), номинального тягового КПД (на 11,79%). При установке сдвоенных колёс на 12,75% уменьшается крюковой расход топлива (номинальный), а также (за счет увеличения скорости движения агрегата) увеличивается производительность МТА на 10,81%

В статье [6] рассматривается вариант сдвигания колёс базового тягача прицепного и навесного оборудования землеройно-транспортных машин. В качестве тягача выступал колёсный трактор Т-150К. На задний мост трактора дополнительно устанавливались колёса меньшего диаметра, при этом передний ведущий мост отключался. Торможение трактора осуществлялось специальной динамометрической тормозной установкой. Оценка тяговых качеств при исследованиях проводилась как с дополнительными колёсами, так и без них, на плотном и рыхлом грунтах и песке.

На плотном грунте основные параметры тяговой характеристики тягача с дополнительными колёсами практически равны параметрам характеристики тягача без дополнительных колёс. Тяговая мощность, тяговый КПД и удельный тяговый расход топлива у тягача с дополнительными колёсами и без них равны. Только максимальная сила тяги по сцеплению больше на 4,7%. На рыхлом грунте сила тяги по сцеплению больше на 7,7%, максимум тяговой мощности больше на 14%, максимум тягового КПД больше на 3,5%, а минимум удельного расхода топлива меньше на 13% у тягача со сдвоенными колёсами. Аналогичная картина наблюдается и на песке, где дополнительные колёса сразу входят в контакт с грунтом. Параметры тяговой характеристики тягача с дополнительными колёсами выше, чем без дополнительных колёс. Сила тяги по сцеплению больше на 13%, максимум тяговой мощности больше на 25%, максимум тягового КПД больше на 9,4%, минимум удельного расхода топлива меньше на 21%.

Теперь проведём анализ зарубежных статей, посвящённых взаимодействию одиночных и сдвоенных колёс с различным грунтом.

В работе [7] показано влияние сдвигания пневматических шин на производительность колёсного трактора. Эффекты, создаваемые конструкциями шины (радиальной и диагональной) и колеса (одинарной и сдвоенной), были рассчитаны для 2 режимов работы и на 2 разных участках, с разными типами почвы: глинистой и супесчаной. Общая производительность трактора, удельный расход топлива и величина скольжения были установлены при помощи параметров, измеренных в процессе исследования. Результаты показали, что использование

радиальных шин даёт некоторое преимущество. Например, общая производительность трактора на радиальных шинах, в отличие от диагональных, повысилась на 3,44%, удельный расход снизился на 3,08% в целом. При эксплуатации на сдвоенных колёсах общая производительность повысилась на 14,73%, в то время как удельный расход топлива снизился в среднем на 12,77%. Радиальные шины не обеспечили существенного снижения (в среднем на 6,7%) относительно диагональных с точки зрения скольжения, в то время как сдвоенные колёса в среднем на 34% снизили скольжение. Был проведён дисперсионный анализ и оценка статистической значимости эффектов, оказываемых на производительность трактора разными факторами и их взаимодействиями. Согласно статистическим данным, лучшие результаты были получены со сдвоенными радиальными шинами.

Работа [8] посвящена исследованию уплотнения грунта колёсным трактором. Объемная плотность грунта и его сопротивление вдавливанию были измерены над твёрдым почвенным слоем под экватором протектора передних и задних шин трактора с механическим передним приводом на сдвоенные колёсах. Передняя шина 14.9R30 R-1 и задняя 18.4R42 R-1 эксплуатировались на супесчаной и суглинистой почве с рыхлым грунтом над прослойкой в почвенном ящике, при трёх комбинациях динамических нагрузок и давлениях в шинах трактора, сцепленном с рядковым растением-питателем. Когда трактор использовался с навесной сеялкой и перевозил жидкие химикаты и когда сцеплялся с сеялкой без жидких химикатов, передние шины были основной причиной уплотняемости грунта. Трактор, приспособленный для сцепной сеялки без перевозки жидких химикатов, вызывал меньшую уплотняемость грунта, чем трактор, сконфигурированный для навесной сеялки с жидкими химикатами на борту. Передние шины трактора с механическим передним приводом и сдвоенными задними колёсами при работе с навесной сеялкой и перевозке жидких химикатов, и с прицепной сеялкой без транспортировки жидких химикатов, являются основной причиной уплотняемости грунта под колёсами трактора. Меньшая уплотняемость проявляется в грунте под колёсами трактора, сконфигурированного для сцепной сеялки без перевозки жидких химикатов, чем трактора, приспособленного для навесной сеялки с жидкими химикатами. Удельный вес грунта был предварительно вычислен по модели поведения грунта с помощью максимумов напряжений, полученных с датчиков напряженных состояний. Предварительно вычисленный удельный вес рыхлого грунта прямо над прослойкой под шинами трактора составил не более 2% от измеренных значений.

В работе [9] приводятся результаты эксперимента по определению эффекта, оказываемого на проскальзывание колёс, расхода топлива и на эксплуатационную характеристику трактора с приводом на четыре одинарных и два сдвоенных колёса, в зависимости от давления в шинах и массы балласта. Вертикальная нагрузка от колёс и давление в шинах – свободно регулируемые параметры, которые играют существенную роль в механической обработке почвы для снижения скольжения, включающее потерю энергии. Этот аспект в значительной степени влияет на расход топлива и время, затрачиваемое на обработку почвы. Главная цель этого эксперимента заключалась в определении эффекта, оказываемого на проскальзывание колёс, расход топлива и на эксплуатационную характеристику тракторами с приводом на 4 одинарных и 2 сдвоенных колёса, в зависимости от давления в шинах и массы балласта. Без дополнительной массы меньший расход топлива был продемонстрирован трактором с наименьшим давлением в шинах на 2 ведущих сдвоенных колёсах. Было установлено, что для культивации на тракторе средней мощности (82,3 кВт) с 2 ведущими сдвоенными колёсами часовой расход топлива на 1,15 л/ч (или 7,3%), расход топлива на гектар на 0,35 л/га (или 7,9%), эксплуатационная характеристика на 0,05 га/ч (или 1,25%) ниже по сравнению с полноприводным трактором на одинарных колёсах, в то время как проскальзывание колёс у обоих было идентичным, т.е. около 8-12%.

Сравнение одинарных и сдвоенных шин на четырёхколёсных тракторах приведено в работе [10]. Полевые тесты проводились на одинаковых четырёхколёсных тракторах (с мощ-

ностью двигателя 113 кВт) с двумя различными устройствами шин: одинарными и сдвоенными. Тесты проводились на пахотной почве, предварительной вспаханной и боронованной, чтобы проверить эффект уплотнения в результате 1-4 проездов трактора по своей колее. Исследуемые параметры почвы: сопротивление вдавливанию, плотность сложения, прочность грунта на срез и его коэффициент прироста, макропористость, распределение пор по размерам и насыщенная гидравлическая проводимость. Множественные проезды трактора производили разные эффекты на грунт относительно исследуемых параметров. Среднее значение сопротивления вдавливанию (глубина 0–0,20 м) составило 2,02 МПа у трактора с одинарными колесами и 1,86 МПа – со сдвоенными. Уменьшение макропористости, в частности удлиненных пор в слоях почвы (0-0,10 м и 0,11-0,20 м) оказалось больше у трактора с одинарными колесами (с 25,3 до 1,1% и с 15,9 до 2,0% соответственно) чем у трактора со сдвоенными колесами (с 25,3 до 2,8% и с 15,9 до 5,2% соответственно). После проездов тракторов насыщенная гидравлическая проводимость снизилась, и были получены следующие значения: контроль, 15,8 мм/ч; одинарные колёса, один проезд и четыре проезда - 2,8 и 1,6 мм/ч соответственно; сдвоенные колёса, один проезд и четыре проезда - 5,9 и 5,8 мм/ч соответственно. Были обнаружены крайне существенные соотношения между гидравлической проводимостью, удлиненными порами и общей макропористостью. Существенные соотношения между макропористостью и сопротивлением вдавливанию после первого и четвёртого проездов обоих типов колес были обнаружены в слоях почвы (0-0,20 м). В исследованных слоях почвы в отношении большей степени макропористости и гидравлической проводимости и низкой степени сопротивления вдавливанию, проезды (один и четыре) трактора со сдвоенными колесами показали меньшую степень уплотнения почвы, чем при проездах трактора, оснащённого одинарными колесами).

В работе [11] рассматривается вопрос влияния между сдвоенными колёсами на нагрузку на поверхность и уплотнения грунта. Данное исследование рассматривает возможные преимущества, которые могут быть получены от взаимодействия колес, для поддержания более высокой доли прилагаемой нагрузки в более тонких слоях грунта. Это создаёт возможности для уменьшения рисков глубокого уплотнения грунта. Предыдущее исследование показало, что различные типы взаимодействия, возникшие под исследуемыми колесами, главным образом зависели от расстояния между ними. В результате были организованы полевые испытания с целью определить диапазон расстояний между сдвоенными колесами в практических ситуациях. Были подготовлены два типа условий с рыхлыми и утрамбованными слоями грунта. Сухой объёмный вес, сопротивление вдавливанию, осадка колеса и площадь контакта были измерены под каждой колесной схемой. Была установлена четкая связь между результатами, полученными в ходе тестов в почвенном ящике и полевых испытаний, подтверждая, что расстояние оказывает существенное влияние на положительные эффекты. С уменьшением расстояния между колесами увеличивалось взаимодействие, включая повышение сопротивления слоев грунта перемещению более тяжелых грузов. Оптимальный диапазон расстояний и типов взаимодействия, выявленные во время лабораторных тестов, оказались применимы на поле.

Результаты тестов подтвердили, что различные типы взаимодействия между зонами разрушения, определенные во время мелкомасштабных тестов, также проявились во время полевых испытаний. Расстояние между сдвоенными колесами, по своему воздействию на природу и взаимодействию с грунтом, существенно влияет на потенциальную эффективность с точки зрения глубинного уплотнения грунта.

Результаты измерений сухого объёмного веса, сопротивления вдавливанию и осадки колёса показали, что существуют некоторые различия между большими и малыми расстояниями между колесами. Эффективность от использования оптимального расстояния между сдвоенными колесами увеличила поддержку нагрузки в рамках поверхностных слоев грунта. Это способно снизить риск вынужденных перегрузок в более глубоких слоях грунта.

Результаты сопротивления вдавливанию подтвердили, что значения изменялись при увеличении расстояния от 50 до 500 мм. Сопротивление грунта между колесами при малых расстояниях оказалось больше, что подтвердило, нагрузка оказывалась на поверхностные слои грунта. Нагрузка, оказываемая на грунт одинарным колесом, оказалась в 1,5 раза больше нагрузки сдвоенности колеса.

Связь между лабораторными тестами и полевыми испытаниями позволила спрогнозировать оптимальный диапазон расстояний для практических целей. В типичном грунте с углом внутреннего трения 20-30°, появляются два эффективных типа взаимодействия при расстоянии (S) по отношению к ширине колеса (W), как указано далее.

Вид взаимодействия 1:  $0,75 W < S < 1,50 W$ .

Вид взаимодействия 2:  $0,40 W < S < 0,75 W$ .

(где S – это расстояние между колесами, а W – ширина колеса).

Можно заключить, в силу вышесказанного, что расстояние между сдвоенными колесами не должно превышать 1,5 и не должно быть менее 0,4 ширины колеса для реализации эффективности. Целесообразным расстоянием для нагрузки поверхностных слоев и снижения глубинного уплотнения грунта должно составлять 0,75 ширины колеса, покрывая оба вида взаимодействия (2 и 3).

Также можно заключить, что использование двух или трёх узких шин с правильными расстояниями между ними более предпочтительно для снижения глубинного уплотнения грунта, чем одинарной шириной шины.

В заключении, стоит отметить, что исследования по сдваиванию ведущих колёс НТТМ, особенно тяговых машин, является перспективной и интересной с точки зрения повышения производительности.

#### Библиографический список

1. Тюнин В.Л. Методика расчёта мощностных показателей колёсного движителя землеройно-транспортных машин: дис. канд. техн. наук / Тюнин Виталий Леонидович. – Воронеж, 2008. – 179 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. Андрианов А.В. Повышение технико-экономических показателей колёсного трактора совершенствованием движителя при выполнении весенних полевых работ (на примере ХТЗ-150К-09): дис. канд. техн. наук / Андрианов Александр Владимирович. – Челябинск, 2015. – 155 с.
5. URL: [http://www.rusnauka.com/8\\_NND\\_2010/Agricole/60388.doc.htm](http://www.rusnauka.com/8_NND_2010/Agricole/60388.doc.htm).
6. 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.
7. Effects of different tire configurations on tractor performance / Sarp Korkut Sümer, Alaettin Sabancı // Turkish journal of agriculture and forestry, 2005. – № 29. Pp. 461-468.
8. Soil compaction from front and rear tires of an MFWD tractor / Brian K. Pearman, Thomas R. Way, Clarence E. Johnson, Eddie C. Burt, Alvin C. Bailey, Randy L. Rape // Journal of commercial vehicles, 1995. – Vol. 104. Pp. 175-183.
- 9 Differences in tractor performance parameters between single wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems / Vidas Damanauskas, Algirdas Janulevičius // Journal of Terramechanics, 2015. – Vol. 60. Pp. 63-73.

10. Effects on some soil qualities in central Italy following the passage of four wheel drive tractor fitted with single and dual tires / P.Servadio, A.Marsili, N.Vignozzi, S.Pellegrini, M.Pagliai // *Soil and Tillage Research*, 2005. – Vol. 84. Pp. 87-100.

11. The effect of spacing in dual wheel arrangements on surface load support and soil compaction / A. Javadi, G. Spoor // *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2006. – Vol. 8. Pp. 119-131.

## References

1. Tyunin V.L. Methods calculation power of parameters wheel mover earth-moving machines: dis. kand. tehn. sciences / Tyunin Vitaliy Leonidovich. - Voronezh, 2008. - 179 s.

2. Zhulai V.A. Assessment gauge when driving wheels earthmovers on the ground / V.A. Zhulai, V.L. Tyunin // *Scientific Herald of the Voronezh State architecture and construction University. Series «Of High technologies. Ecology»*. 2013. - Pp. 140-143.

3. Zhulai V.A. Determination of the contact width of large-size tires of earth-moving machines when driving on the ground / V.A. Zhulai, V.L. Tyunin // *Scientific Bulletin of Voronezh GASU. Series “High Technologies. Ecology”*. 2014. - Pp. 191-195.

4. Andrianov A.V. Increasing the technical and economic indicators of a wheeled tractor by improving the engine when performing spring field work (for example, KHTZ-150K-09): dis. cand. techn. science / Alexander V. Andrianov. - Chelyabinsk, 2015. - 155 p.

5. URL: [http://www.rusnauka.com/8\\_NND\\_2010/Agricole/60388.doc.htm](http://www.rusnauka.com/8_NND_2010/Agricole/60388.doc.htm).

6. Zhulai V.A. Experimental studies of traction qualities of a wheeled tractor for earthmoving vehicles / V.A. Zhulai, V.L. Tyunin, A.N. Schienko // *Construction and road machines*. 2019. – № 12. - Pp. 20-23.

7. Effects of different tire configurations on tractor performance / Sarp Korkut Sümer, Alaettin Sabanci // *Turkish journal of agriculture and forestry*, 2005. – № 29. Pp. 461-468.

8. Soil compaction from front and rear tires of an MFWD tractor / Brian K. Pearman, Thomas R. Way, Clarence E. Johnson, Eddie C. Burt, Alvin C. Bailey, Randy L. Rape // *Journal of commercial vehicles*, 1995. – Vol. 104. Pp. 175-183.

9. Differences in tractor performance parameters between single wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems / Vidas Damanauskas, Algirdas Janulevičius // *Journal of Terramechanics*, 2015. – Vol. 60. Pp. 63-73.

10. Effects on some soil qualities in central Italy following the passage of four wheel drive tractor fitted with single and dual tires / P.Servadio, A.Marsili, N.Vignozzi, S.Pellegrini, M.Pagliai // *Soil and Tillage Research*, 2005. – Vol. 84. Pp. 87-100.

11. The effect of spacing in dual wheel arrangements on surface load support and soil compaction / A. Javadi, G. Spoor // *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2006. – Vol. 8. Pp. 119-131.

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строительной  
техники и инженерной механики им. профес-  
сора Н.А. Ульянова*

*С.А. Никитин,*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строительной  
техники и инженерной механики им. профес-  
сора Н.А. Ульянова*

*Н.М. Волков,*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строительной  
техники и инженерной механики им. профес-  
сора Н.А. Ульянова*

*Д.Н. Дегтев,*

*Магистранты кафедры строительной тех-  
ники и инженерной механики им. профессора  
Р.О. Замотин, М.А. Соколов, А.Ю. Соколов,*

*А.В. Трунов*

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

*e-mail: [niksal76@mail.ru](mailto:niksal76@mail.ru)*

*Voronezh State  
Technical University*

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

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

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

*Undergraduates of the pulpit of the chair of  
building technique and mechanics engineer-  
ing R.O.Zamotin, M.A. Sokolov, A.Y.*

*Sokolov, A.V. Trunov*

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

*e-mail: [niksal76@mail.ru](mailto:niksal76@mail.ru)*

С.А. Никитин, Н.М. Волков, Д.Н. Дегтев, Р.О. Замотин, М.А. Соколов, А.Ю. Соколов, А.В. Трунов

## **АНАЛИЗ ВИБРОВОЗМУЩАЮЩИХ СИЛ ДОРОЖНОЙ МАШИНЫ**

Проводится анализ результатов исследований в кабине дорожной ма-  
шины.

**Ключевые слова:** вибрация, виброизоляция, защита от вибрации.

S.A. Nikitin, N.M. Volkov, D.N. Degtev, R.O.Zamotin, M.A. Sokolov, A.Y. Sokolov, A.V. Trunov

## **ANALYSIS OF THE VIBRATION CLEARING FORCES OF THE ROAD MACHINE**

The analysis of the results of studies in the cab of the road machine is car-  
ried out.

**Keywords:** vibration, vibration isolator, vibration protection.

Создание специальных машин для поддержания дорог и аэродромов в рабочем состоянии обусловлено необходимостью качественного их обслуживания и специфическими условиями эксплуатации дорожных покрытий, связанными с особыми климатическими условиями.

Большое разнообразие специальной техники обуславливается созданием узкоспециального рабочего оборудования с последующей установкой его на базе уже существующих транспортных средств. При этом, виброакустическая энергия создаваемая навесным оборудованием не учитывается, хотя ее воздействие на водителя велико. Не смотря на то, что в области шумозащиты водителей транспортных средств накоплен большой опыт [1,2], созда-

на мощная научно-техническая база для решения данного вопроса, структурный звук, как составляющая общего звукового поля кабины водителя, как правило, не учитывается.

Таким образом, активные рабочие органы специальных машин являются дополнительным источником структурного шума, воздействию которого подвержены водители транспортных средств.

Одной из такой машин является дорожный снегоуборочный шнекороторный снегоочиститель ДЭ-210. Он смонтирован на шасси автомобиля ЗИЛ-131 повышенной проходимости. Данная машина позволяет осуществлять уборку свежеснегавшего и слежавшегося снега с последующим отбросом его на расстояние до 24 метров, что обеспечивается вращением ротора. Сбор снега и перемещение его к ротору обеспечивается вращающимися шнеками.

Точную картину об уровнях структурного шума в кабине водителя дают результаты полевых испытаний шнекороторного снегоочистителя в лабораторно-полевых условиях в открытом звуковом поле. При этом использовался новый способ [3] разделения источников звука и аппаратура фирмы "Брюль и Кьер" (Дания), включающая шумомер типа 2203, 1/3-октавные фильтры типа 1613, акселерометр – 4332 и интегратор – ZR 0020. Акселерометр устанавливался на раме машины у левой опорной связи и на полу внутри кабины у той же опорной связи.

Полученные данные приведены на рис.1 и рис.2 для уровней виброскоростей рамы и пола кабины соответственно.

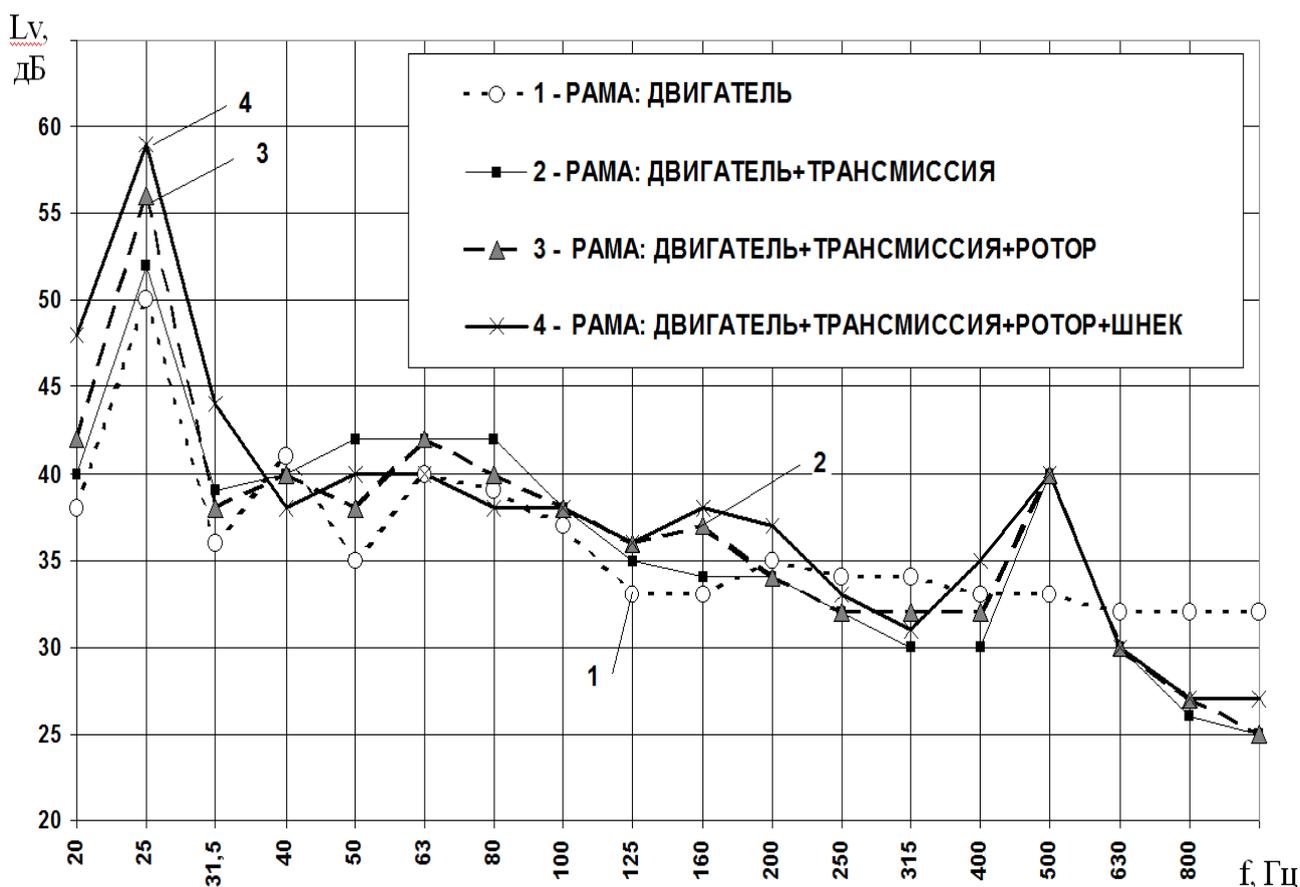


Рис. 1. 1/3-октавные спектры виброскоростей рамы при последовательном включении двигателя, трансмиссии, ротора и шнеков

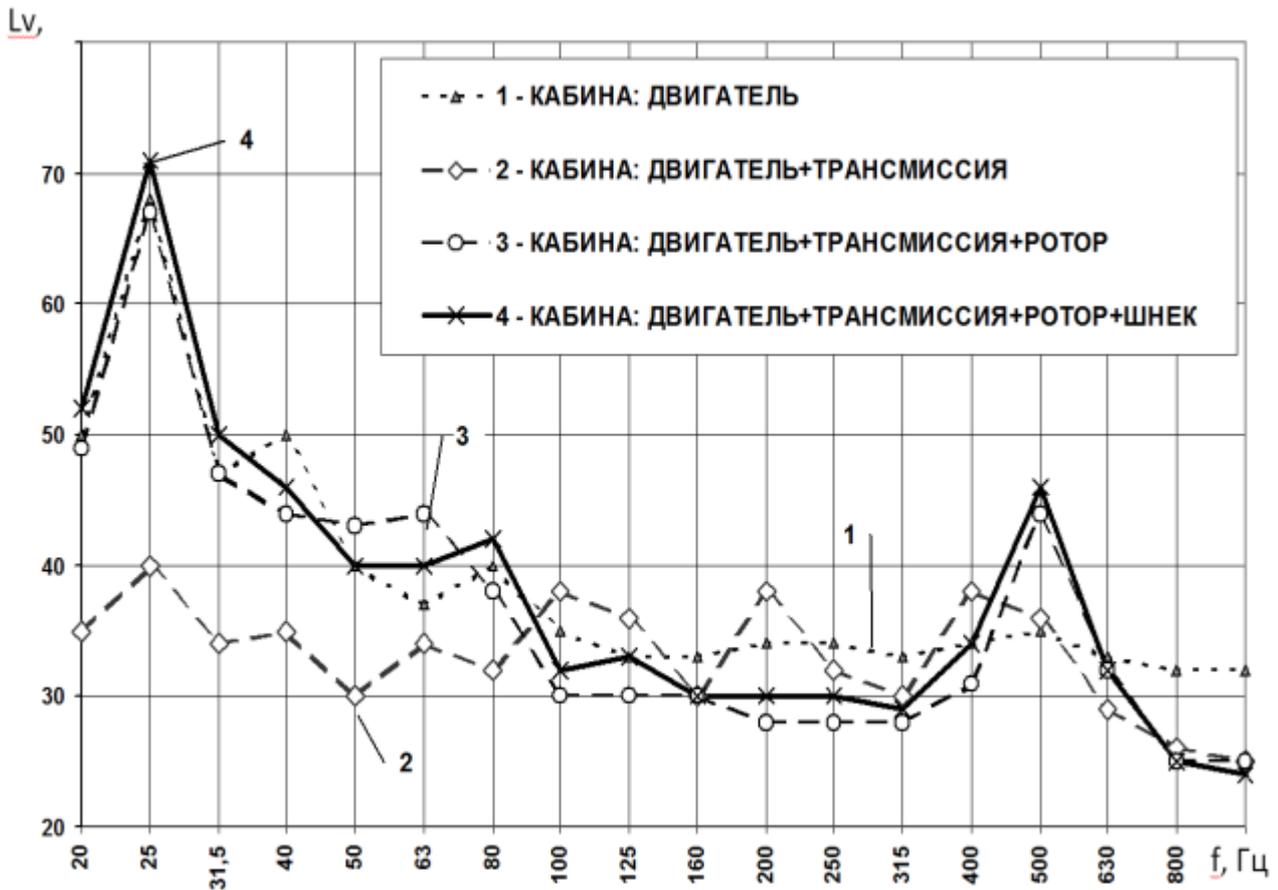


Рис. 2. 1/3-октавные спектры виброскоростей пола кабины при последовательном включении двигателя, трансмиссии, ротора и шнеков

Как видно из графиков, наибольшие уровни виброскоростей наблюдаются при работе всех источников в 1/3-октавных частотах со среднегеометрическими частотами 25 Гц и 500 Гц. Очевидно также превышение виброскоростей пола кабины над виброскоростями рамы, что объясняется резонансными явлениями в корпусе кабины водителя. Также данный факт свидетельствует о том, что на отмеченных частотах 1/3-октавных полос эффективность виброизоляторов в опорных связях кабины крайне недостаточна.

Максимальное значение уровня виброскорости получено на частоте 25 Гц. На этой частоте определяется вклад источников виброакустической энергии в общее поле звуковой вибрации рамы с использованием общеизвестной в технической акустике формулы энергетического суммирования [4, 5].

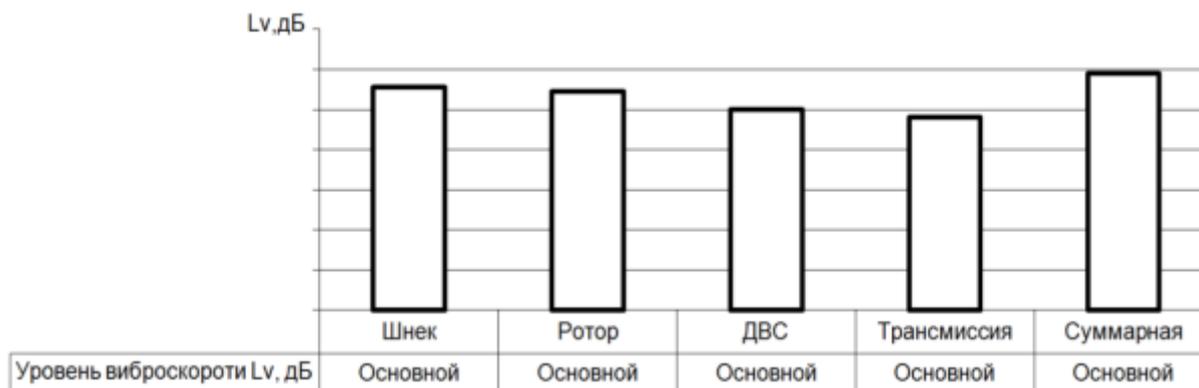
$$L_{v_{сумм}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{vi}} ; дБ, \quad (1)$$

где  $L_{v_{сумм}}$  – суммарный уровень виброскорости рамы при работе всех источников,

$L_{vi}$  – уровень виброскорости рамы  $i$ -го источника,

$n$  – число источников (в данном случае  $n = 4$ ).

По результатам измерений и вычислений по приведенной выше формуле построена диаграмма, представленная на рис.3, отражающая вклад источников в общее звуковое поле рамы.



**Рис. 3.** Вклад источников в звуковую вибрацию рамы в 1/3 октавной полосе со среднегеометрической частотой 25 Гц

Основное оборудование излучает виброакустическую энергию на частотах, определяемых известными формулами [3], представленными в таблице.

Таблица

Определение частоты излучения виброакустической энергии рабочими органами машины

Причина генерации виброакустической энергии	Расчетная формула	Частота возмущения, Гц
1	2	3
Ротор рабочего органа		
Неуравновешенность ротора	$f_p = kn_p z_p / 60,$ $k$ – номер гармоники, $k = 1$ ; $n_p$ – частота вращения ротора, $n_p = 442 \text{ мин}^{-1}$ . $z_p$ – число лопастей ротора, $z_p = 6$	$f_p = 42,2$
Шнеки рабочего органа		
Неуравновешенность шнеков	$f_{ш} = kn_{ш} / 60,$ $k$ – номер гармоники, $k = 1$ $n_{ш}$ – частота вращения шнеков, $n_{ш} = 370 \text{ мин}^{-1}$	$f_{ш} = 6,17$
Быстроходная карданная передача		
Неуравновешенность карданной передачи	$f_{кл} = kn_{кл} / 60,$ $k$ – номер гармоники, $k = 1$ $n_{кл}$ – частота вращения быстроходной карданной передачи $n_{кл} = 1500 \text{ мин}^{-1}$	$f_{кл} = 25$

1	2	3
Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) У2Д6-250 ТК-С3, N=134 кВт		
Неуравновешенность вращающихся деталей, сил инерции первого порядка и их моментов	$f_{ДВС1} = kn_e / 60,$ $n_e$ - Частота вращения коленчатого вала двигателя, $n_e = 1500 \text{ мин}^{-1}$ ; $k$ - номер гармоники, $k = 1$ .	$f_{ДВС1} = 25$
Процесс сгорания топлива	$f_c = c / (2D),$ $D$ - диаметр цилиндра (камеры сгорания) двигателя, $D = 0,15 \text{ м}$ ; $c$ - скорость звука в газе при сгорании, $c = 657 \text{ м/с}$ .	$f_c = 2190$
Неуравновешенность сил инерции второго порядка и их моментов	$f_{ДВС2} = 2kn_e / 60,$ $k = 1$ .	$f_{ДВС2} = 50$
Неравномерность потока воздуха вентилятора системы охлаждения двигателя	$f_B = z_l n_p / 60,$ $z_l$ - число лопаток вентилятора, $z_l = 6$ ; $n_p$ - частота вращения ротора, $n_p = 2250 \text{ мин}^{-1}$ .	$f_B = 225$
Удары клапанов	$f_K = kz_k z_n e / (60m),$ $z_k$ - число одновременно работающих клапанов одного цилиндра, $z_k = 2$ ; $z$ - число цилиндров двигателя, $z = 6$ ; $k = 1$ . $m$ - коэффициент тактности, для 4-х тактных $m = 2$	$f_K = 160$

### Выводы

1. Установлены наибольшие уровни звуковой вибрации рамы машины и пола кабины в 1/3-октавных полосах со среднегеометрическими частотами 20; 25; 31,5 и 500 Гц;
2. Определен вклад источников в общее звуковое поле рамы. При этом наибольшие уровни звуковой вибрации обусловлены работой шнеков и ротора с их приводами.
3. Установлена низкая эффективность виброизоляторов в опорных связях кабины на частотах, отмеченных в п.1.
4. Комплекс мероприятий по снижению звуковой вибрации, а следовательно структурного шума, в первую очередь должен включать мероприятия по уменьшению динамических сил в источниках и применению эффективных упругих элементов в опорных связях кабины и рамы машины.

### Библиографический список

1. Никитин С.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Душкин С.В., Иванов С.А. Результаты исследований звукопоглощающих материалов. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2016. № 1. С. 258-266.

2. Волков Н.М., Дёгтев Д.Н., Никитин С.А., Труфанов М.С., Радченко И.С. Экспериментальные результаты акустических испытаний колесного погрузчика ПК 27-02./Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2013. № 1. С. 125-127.

3. Устинов Ю.Ф., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Никитин С.А. Сравнение результатов виброакустических исследований на дорожной шнекороторной снегоочистительной машине типа ДЭ-210./ Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2010. № 1. С. 223-225.

4. Никитин С.А., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Воропаев В.О., Воронов А.С. Численные исследования быстропеременных виброакустических процессов при помощи метода конечных элементов. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2013. № 1. С. 154-159.

5. Никитин С.А., Волков Н.М., Серов А.А., Морозов А.В., Ознобкин Д.В., Прасолов А.С. Оптимизация звукозащиты в кабине технологических машин. Научный вестник Воронежского государственного технического университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2017. № 1. С. 216-221.

#### References

1. S.A. Nikitin, N.M. Volkov, D.N. Degtev, S.V. Dushkin, S.A. Ivanov. Sound-absorbing materials research results. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Construction. Series: High Technologies. Ecology. 2016. pp. 258-266.

2. Volkov N.M., Degtev D.N., Nikitin S.A., Trufanov M.S., Radchenko I.S. Experimental results of acoustic tests of wheel loader PC 27-02 / Scientific Newsletter Of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering High-tech solutions. Ecology. 2013. № 1. P. 125-127.

3. Ustinov Y.F., Nikitin S.A., Volkov N.M., Degtev D.N. Comparison of vibroacoustic research results in screw-rotary snow remover, model DE-210./Scientific Newsletter Of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering High-tech solutions. Ecology. 2010. № 1. P. 223-225.

4. S.A. Nikitin, N.M. Volkov, D.N. Degtev, V.O. Voropaev, A.S. Voronov. Numerical research of a rapidly varying vibroacoustic processes using the finite element method. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Construction. Series: High Technologies. Ecology. 2013. pp. 154-159.

5. S.A. Nikitin, N.M. Volkov, A.A. Serov, A.V. Morozov, D.V. Oznobkin, A.S. Prasolov Optimization of sound protection in the cab of technological machines. Scientific Newsletter of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: High Technologies. Ecology. 2017. pp. 216-221.

*Воронежский государственный  
технический университет д-р. техн. наук,  
проф. кафедры строительной техники и  
инженерной механики В.А. Нилов,  
доцент Е.В. Федоров  
магистрант К.А. Мирошников.  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 277-01-29  
e-mail: [vladnil1014@mail.ru](mailto:vladnil1014@mail.ru)*

*Voronezh State Technical University  
Dr. Sci. Tech., prof., building engineering  
and engineering mechanics Dept  
V.A. Nilov,  
assistant professor E.B. Fedorov,  
Magistracy Chair K.A. Miroshnikov,  
Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 277-01-29  
e-mail: [vladnil1014@mail.ru](mailto:vladnil1014@mail.ru)*

В.А. Нилов, Е.В. Федоров, К.А. Мирошников

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА СКРЕПЕРА ТЯГАЧА**

В статье рассмотрены вопросы об исследовании вертикального взаимодействия прицепного устройства скрепера при разработке грунта. Представлены графические и аналитические результаты исследований

**Ключевые слова:** вертикальное взаимодействие, прицепное устройство скрепера.

V.A. Nilov, E.B. Fedorov, K.A. Miroshnikov

### **STUDY OF VERTICAL INTRECTION OF TRAILER SCRAPER**

The article deals with the study of vertical interaction of trailer scraper when developing the soil. Presented graphical and analytical research results.

**Keywords:** vertical interaction, scraper hitch.

Скрепер предназначен для послойной разработки грунта, набора его в ковш, транспортирования к месту разгрузки и послойной выгрузки. Также скреперы могут выполнять предварительное разравнивание и уплотнение грунта.

Прицепные скреперы применяют для дальнейшей транспортировки грунта на сравнительно небольшие расстояния (с гусеничным тягачом на 3000 и более метров, с колесным тягачом до 1000 м). Применение прицепных скреперов позволяют в зимний период использовать тягач на других видах работ (транспортные, снегоуборочные и проч.), что существенно расширяет коэффициент использования тягача и выполняемую им полезную работу. В этом заключается преимущество прицепных скреперов перед самоходными машинами.

Исследования [1, 2], выполненные по изучению вертикальных нагрузок на ходовую часть тягачей прицепных скреперов, позволили зафиксировать уменьшение сцепного веса тягача при копании грунта (вне зависимости от его ходовой части). Это обстоятельство отрицательно сказывается на технико-экономических показателях прицепного скрепера, поскольку при копании тягач реализует на 18...20% меньшую силу тяги, чем ожидается. В результате ковш заполняется медленнее и производительность скрепера снижается.

Изучение схемы сил [2], действующих на серийное прицепное устройство (рис. 1), позволило установить причину этого явления. Главное, чтобы вертикальное нагружение мостов тягача приближалось к равномерному, так как при этом величина паразитной мощности, циркулирующей в трансмиссии трактора, уменьшается.



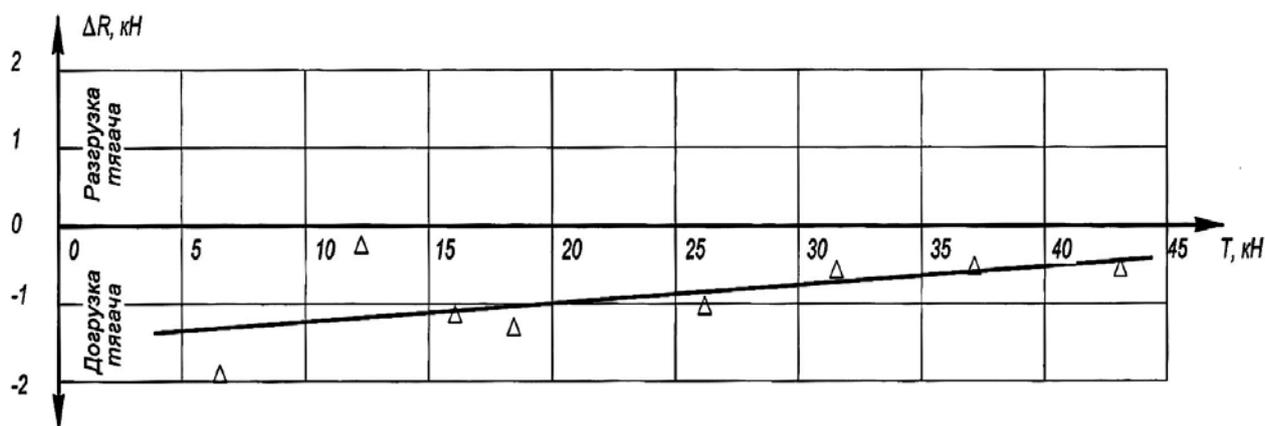


Рис. 3. Воздействие прицепного бруса скрепера на тягач при увеличении высоты  $h_m$

Схема сил, действующих на прицепное устройство (рис. 1), и исследования конструкций прицепных устройств [4] позволили установить возможность увеличения сцепного веса тягача скрепера при разработке грунта как за счет приближения шаровой опоры к тягачу, так и благодаря применению нового прицепного устройства [5]. Последние исследования позволили определить рациональный критерий для выбора способа увеличения сцепного веса тягача, основанный на введении критерия – минимальное отклонение от равенства сцепных весов переднего и заднего мостов тягача при копании грунта. Конструктивно выполнить перемещение шаровой опоры вдоль прицепного бруса можно, однако при этом слишком быстро увеличивается вертикальная нагрузка на задний мост тягача [4] и дальнейшее его увеличение за счет работы прицепного устройства [5] становится нецелесообразным.

По нашему мнению более перспективным является применение прицепного устройства [5], которое увеличивает сцепной вес тягача при копании за счет развиваемой им силы тяги, не требует изменения конструкции крепления шаровой опоры к прицепному бусу, но для его работы необходимо сделать упряжные шарниры тяговой рамы подвижными.

### Выводы

1. Конструкция серийного прицепного устройства уменьшает сцепной вес тягача прицепного скрепера и требует усовершенствования.
2. Аналитическое исследование взаимодействия тягача и прицепного устройства позволило установить направление изменения его конструкции не только для стабилизации сцепного веса тягача, но и для его увеличения при разработке грунта.
3. Установлено, что параметром, ограничивающим увеличение сцепного веса тягача за счет работы прицепного устройства, является минимизация разности вертикального нагружения мостов тягача при копании грунта, что требует изменения конструкции соединения ковша и тяговой рамы скрепера.

### Библиографический список

1. Зинченко Н.С. Исследование рабочего процесса прицепного скрепера, увеличивающего сцепной вес гусеничного тягача при копании грунта. Омск, 1980. Автореферат.

2. Косенко А.А Повышение эффективности работы прицепного скрепера с колесным тягачом. Воронеж, - 2003. Автореферат.
3. ПАТЕНТ № 2230158 Россия E02F 3/64. Прицепное устройство скрепера. Авт. изобр. Нилов В.А., Косенко А.А., и др. № 2002128327/03. Заявл. 21.10.2002. Оpubл. 10.06.2004, Бюл. № 16. – 3 с.
4. Нилов В.А., Солнцев А.В. Исследование вертикального нагружения мостов тягача прицепного скрепера // Научно-технический журнал «Высокие технологии в строительном комплексе». 2019, № 1. – С 167-169.
5. ПАТЕНТ № 2373336 Россия E02F 3/64. Прицепное устройство скрепера. Авт. изобр. Нилов В.А., Никулин П.И., Иванищев П.И. № 2008126972/03. Заявл.02.07.2008.Оpubл. 20.11.2009, Бюл. № 32.

#### References

1. Zinchenko N. S. The study of the working process of the trailer scraper, which increases the weight of the caterpillar tractor hitch when digging soil. Omsk, 1980.
2. Kosenko A. A. improving the efficiency of the towed scraper wheel tractor Voronezh, in 2003.
3. Patent RU 2230152, MKI E02F 3/64. Trailing device scraper .V.A. Nilov, Kosenko A.A. and other. № 2002128327/03. Declared. 10.06.2006. Bulletin No. 16. - p. 3. (In Russian)
4. V.A. Nilov, A.V. Solncev Study of vertical loading of bridges trailer scraper // Scientific-and-Technical Journal «High technologies in construction complex». 2019, No. 1. – pp. 167-169.
5. Patent RU 2373336, MKI E02F 3/64. Trailing device scraper .V.A. Nilov, P.I. Nikulin, P.I. Ivanishchev. Declared.02.07.2008. Published 20.11.2009. Bulletin No. 32. (In Russian).

*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.Н. Фолчанов,  
магистрант А.М. Нахаев  
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.N. Folchanov,  
mag. A.M. Nakhaev  
Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 2-71-59-18  
e-mail: serov-andrey76@yandex.ru*

А.А. Серов, А.Н. Фолчанов, А.М. Нахаев

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОМОЛОТОВ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Назначение, принцип действия гидромолотов, особенности выбора в зависимости от интенсивности работы, воздействие на рабочую машину и оператора

**Ключевые слова:** гидромолот, гидромотор, рабочее оборудование.

A.A. Serov, A.N. Folchanov, A.M. Nakhaev

Purpose, the principle of operation of hydraulic hammers, especially the choice depending on the intensity of work, the impact on the working machine and the operator.

## **THE USE OF HYDRAULIC HAMMERS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY**

**Keywords:** hydraulic hammer, hydraulic motor, working equipment.

В современном строительном производстве без использования мощных производительных строительных машин невозможно представить себе выполнение тяжелых энергоемких видов работ. К такого вида работам относятся демонтажные и иные подготовительные работы, связанные с разрушением строительных конструкций, разработкой тяжелых скальных и мерзлых грунтов, добычей нерудных строительных материалов, а также процессы схожего характера. Во всех перечисленных производственных процессах нашли широкое применение гидравлические молоты.

Гидравлический молоты — это специальное навесное оборудование, предназначенное для разрушения твердых поверхностей искусственного или естественного происхождения. Навесное оборудование такого типа наиболее часто устанавливается на колесные и гусеничные экскаваторы.

В 80-х годах XX века на одноковшовых гидравлических экскаваторах начали широко использовать пневматические и гидравлические молоты. Производством подобного навесного оборудования занимались такие крупные производители как: Krupp (Германия), Montabert (Франция), Atlas Copco (Швеция), Furukawa (Япония), MGF (Великобритания). На отечественных предприятиях также велись разработки в этой области, но они были не столь успешными и ограничивались выпуском отдельных серий. Главной причиной такого положения

дел была технологическая сложность данного оборудования, требующая высокой точности изготовления узлов с применением дорогостоящих высококачественных материалов. Предприятия СССР к таким высоким требованиям часто были не готовы, также отсутствовал серьезный спрос на такую продукцию, многие технологические строительные операции, на которых могли быть использованы гидромолоты выполнялись вручную с применением средств малой механизации.

В настоящее время гидромолоты довольно широко используются в технологическом процессе строительного производства, при этом по энергии удара различают несколько классов:

1. Малые гидромолоты — с энергией удара 400-1500 Дж
2. Средние гидромолоты — с энергией удара 1500-3500 Дж
3. Тяжелые гидромолоты — с энергией удара более 3500 Дж

Гидромолоты малого класса отличаются легкостью и мобильностью, при этом из-за относительно не большой величины энергии удара они незаменимы при работе в стесненных условиях, а также при работе вблизи подземных инженерных сетей в городских условиях и в условиях промышленных и жилых объектов. Гидромолоты малого класса применяют для демонтажа асфальтового и бетонного покрытия небольшой толщины, кирпичной кладки и т.п. При использовании сменного рабочего инструмента некоторые модели данного класса можно использовать для трамбования грунта.

Среднеразмерные гидромолоты успешно используют для разрушения асфальто-бетонных покрытий различной толщины, железобетонных строительных конструктивных элементов зданий и сооружений. Часто среднеразмерные гидромолоты применяют при разработке мерзлых грунтов и даже на тяжелых грунтах до 7-ой категории. Эти модели следует с осторожностью применять вблизи зданий, сооружений и подземных инженерных коммуникаций.

Гидромолоты тяжелого класса используют для работы в карьерах, на скальных грунтах и в условиях тяжелой мерзлоты. Большой экономический эффект от тяжелых гидромолотов достигается при использовании на больших объемах демонтажных работ сложных промышленных объектов или иных сооружений.

По критерию интенсивности использования все гидромолоты можно разделить на две категории универсальные и специализированные. Универсальные модели применяются при небольших объемах работ в случаях локального вскрытия дорожного покрытия, разбивания остатков фундамента или мерзлого грунта. Специализированные гидромолоты применяют в случаях постоянного интенсивного использования: при прокладке тоннелей, трубопроводов в условиях вечной мерзлоты или в скальных породах, на добыче рудных или нерудных материалов.

При работе гидромолот оказывает существенное динамическое воздействие на базовую машину. Рабочее оборудование базовой машины с гидромолотом представляет собой сложную колебательную систему состоящую из массы молота, рукояти, стрелы, гидроцилиндров и т.д. Несовпадение направления реакции гидромолота и усилия прижатия негативно сказывается на долговечности рабочего оборудования, а также снижает эффективность работы машины в особенности в тех случаях, когда ось молота не перпендикулярна разрабатываемой поверхности.

При проведении измерений нагруженности элементов металлических конструкций базовой машины выявлено, что при работе 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. Важно отметить, что самое большое негативное воздействие на машину возникает при внезапном разрушении разрабатываемого материала, при этом экскаватор падает с высоты, ограниченной высотой отрыва колес или гусениц от поверхности стоянки.

Помимо динамического и вибрационного воздействия на экскаватор гидромолот при работе создает значительный шум. Разные производители по-разному решают данную проблему. Гидромолоты Indeco выпускаются в исполнении серии HD с шумоизоляцией и серии Whisper («Шепот») с усиленной шумоизоляцией. Оба типа обеспечивают значительное снижение уровня шума, особенно для версии Whisper, где внутри корпуса используется звукопоглощающий материал. Atlas Copco выполняет корпус гидромолота цельнолитым, что позволяет снизить вибрации и шумы за счет уменьшения количества отдельных деталей. Многие производители применяют системы двойной амортизации – гидравлической и механической.

Однако, как мы знаем в реальных условиях работы все технические усовершенствования производителей работают только при условии соблюдения всех правил эксплуатации и обслуживания. Не следует допускать отрыв базовой машины от опорной поверхности более чем на 150 мм, это может привести к поломке машины. В случае не разрушения материала в течении 30 секунд с момента воздействия необходимо переставлять рабочий инструмент в точку ближе к краю, что способствует увеличению производительности и дольше сохранит рабочий инструмент в целостности. некачественным обслуживанием и эксплуатацией.

В процессе работы в паре «инструмент-втулка» необходимо регулярно обновлять смазку, не реже, чем раз в 2 часа, а в сильно запыленных условиях — каждый час. Пара «инструмент-втулка» постепенно изнашиваются в результате чего зазор между хвостовиком инструмента и направляющей втулкой постепенно возрастает и боек гидромолота наносит удары по краям торца инструмента, которые выкрашиваясь, многократно усиливают процесс разрушения. В связи с этим при увеличении зазора больше, чем на 5% от величины посадочного диаметра инструмента, необходимо производить замену всей пары. Экономия в данном случае может сильно навредить и привести к дорогостоящему ремонту всего гидромолота, а иногда и базовой машины. Для исключения данного явления применяются рабочие инструменты со сферическими оголовками хвостовиков, что уменьшает вероятность повреждения. Но и такая конструкция требует контроля зазоров и своевременной замены износившихся деталей.

Важно правильно выбирать вид рабочего инструмента для каждого из разрушаемых материалов. Плоское зубило эффективно работает при взаимодействии с мягкими материалами асфальтовым покрытием, мерзлыми грунтами и кирпичной кладкой. Коническая или пирамидная пика эффективна воздействует на высокопрочные материалы, такие как: монолитный бетон, разрушение железобетонных конструкций. Ну и, наконец, инструмент с тупым концом лучше всего подходит для разрушения негабаритов кристаллических пород (гранита, магмы, зеленокаменных пород. Важна и частота воздействия на материал - чем выше плотность материала, тем большую силу требуется приложить для его разрушения. И наоборот, если вам необходимо разрушить относительно тонкие перекрытия или раздробить прочные материалы на мелкие куски, то на первый план выходит частота нанесения ударов. Грамотный подбор рабочего инструмента и режимов позволяет существенно повысить эффективность использования оборудования.

Использование гидромолота не по назначению допускать категорически запрещено, это приведет тяжелым неисправностям вплоть до полного выхода из строя.

Особого внимания требует организация работ с использованием гидромолотов в условиях пониженных температур. Отрицательные температуры увеличивают риск усталостного разрушения металла, прокладки и сальники становятся менее эластичными. Это приводит к повышенной ломкости инструмента, а также возможности утечек гидрожидкости. С целью исключения этих негативных явлений необходимо выполнять предварительный прогрев гидросистемы перед началом работ. Для этого необходимо в течении нескольких минут дать двигателю машины поработать на холостом ходу, потом без нагрузки подвигать гидроцилиндрами стрелы, и лишь потом включать гидромолот (первоначально без «вывешивания» экскаватора).

При выполнении демонтажных работ под водой, использовать обычный гидромолот нельзя. Для работы под водой разработаны специальные модели, оборудованные системой подачи сжатого воздуха, дополнительными уплотнениями и с повышенной антикоррозийной защитой.

Гидромолот – чрезвычайно эффективное навесное рабочее оборудование, позволяющее значительно улучшить эксплуатационные возможности базовой машины. Только грамотное выполнение всех правил эксплуатации и технического обслуживания гидромолотов позволит максимально полно раскрыть потенциал этого навесного оборудования и прослужить в течение длительного времени без отказов.

#### Список источников

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*

*Студент группы НТС-171 И.О. Каплин*

*Студент группы НТС-171 Д.А. Краснолуцкий*

*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*

*Student group НТС-171 I.O. Kaplin*

*Student group НТС-171 D.A. Krasnoluzkiy*

*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,  
И.О. Каплин, Д.А. Краснолуцкий*

## **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ ЭКСПЕРТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СУДЕБНОЙ АВТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ МУФТЫ БЛОКИРОВКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛА АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ**

Разрушение муфты блокировки дифференциала редуктора среднего моста – достаточно частая поломка автомобиля КАМАЗ 43118-46. Проведение судебной автотехнической экспертизы по выявлению причины данной неисправности может быть поручено эксперту, обладающему должной квалификацией и прошедшему подготовку по специальности 13.2 “Исследование технического состояния транспортных средств”. Представлена последовательность действий эксперта при осмотре исследуемого транспортного средства КАМАЗ, компонентов среднего моста, компонентов муфты блокировки дифференциала. Приведены возможные причины поломки редуктора среднего моста и муфты блокировки дифференциала транспортного средства КАМАЗ. Представлена методика измерения твердости материала муфты блокировки. Представлена методика и результаты проведения фрактологических исследований излома материала муфты. Разъяснено почему разрушение происходит в редукторе или муфте блокировке межколесного дифференциала именно среднего моста, а не заднего.

**Ключевые слова:** муфта блокировки, дифференциал, средний мост, автомобиль, автотехническая экспертиза, фрактографический анализ, крутящий момент, транспортное средство, разрушение, излом.

E.A. Tarasov, N.M. Volkov, D.N. Degtev, S.A. Nikitin, A.N. Shchienko, I.O. Kaplin,  
D.A. Krasnoluzkiy

## **THE SEQUENCE OF ACTIONS OF THE EXPERT IN THE PRODUCTION OF FORENSIC AUTOMOTIVE EXPERTISE TO STUDY THE CAUSES OF DESTRUCTION OF THE CLUTCH LOCKING DIFFERENTIAL KAMAZ**

Destruction of the clutch of blocking of a differential of the reducer of the average bridge – quite frequent breakage of the KAMAZ 43118-46 car. Carrying out of judicial autotechnical examination on identification of the reason of this malfunction can be entrusted to the expert possessing due qualifications and trained in the specialty 13.2 "Research of a technical condition of vehicles". The sequence of actions of the expert at survey of the investigated KAMAZ vehicle, components of the average bridge, components of the coupling of blocking of a differential is presented. The possible causes of failure of the gearbox of the middle axle and the clutch of the differential lock of the KAMAZ vehicle are given. The method of measuring the hardness of the material of the locking clutch is presented. The technique and results of fractological studies of the fracture of the coupling material are presented. It is explained why the destruction occurs in the gearbox or clutch blocking the inter-wheel differential is the middle bridge, and not the rear.

**Keywords:** clutch lock, differential, middle axle, car, auto technical examination, fractographic analysis, torque, vehicle, fracture, fracture.

Разрушение муфты блокировки дифференциала редуктора среднего моста – достаточно частая поломка автомобиля КАМАЗ 43118-46. Проведение судебной автотехнической экспертизы по выявлению причины данной неисправности может быть поручено эксперту, обладающему должной квалификацией и прошедшему подготовку по специальности 13.2 "Исследование технического состояния транспортных средств" [1]. Далее представлена последовательность действий эксперта при производстве судебной автотехнической экспертизы по исследованию причины разрушения муфты блокировки дифференциала среднего моста вышеуказанного транспортного средства.

Перед проведением экспертного осмотра редуктора среднего моста и муфты блокировки дифференциала был осмотрен автомобиль КАМАЗ 43118-46. Было установлено, что автомобиль уже отремонтирован и эксплуатируется, а разрушенные компоненты муфты блокировки дифференциала и редуктор среднего моста хранятся в неотапливаемом крытом помещении.

Было установлено, что автомобиль КАМАЗ 43118-46 внешних механических повреждений не имеет, идентификация исследуемого объекта и его идентификационные параметры и характеристики соответствуют данным производителя. На ТС установлены шины, размером по рекомендации завода-изготовителем [2].

На одометре исследуемого транспортного средства пробег не отображается, пробег определялся по показаниям тахографа и составляет 17468 км [3].

Была проверена работоспособность блокировки межколесного дифференциала. Для этого водитель исследуемого транспортного средства нажал на выключатель блокировки межколесного дифференциала, на панели комбинации приборов загорелась соответствующая контрольная лампа, а в районе среднего моста был отчетливо слышен звук, свидетельствующий о подаче воздуха и ходе вилки включения муфты блокировки дифференциала среднего моста исследуемого транспортного средства. Это подтверждает работоспособность блокировки межколесного дифференциала среднего моста на ТС КАМАЗ 43118-46 [4].

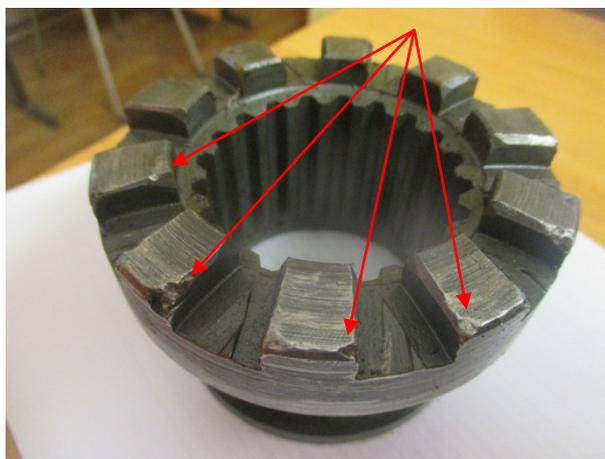
После этого эксперт выяснил у представителей истца, что на исследуемом транспортном средстве постоянно работают 2 водителя и провел их интервьюирование. С одним из водителей диалог состоялся лично, с другим – по телефону. Оба водителя сказали, что блокировкой межколесного дифференциала мостов они не пользуются из-за отсутствия необходимости.

Исследуемые запасные части были представлены эксперту накрытые полиэтиленовой пленкой и размещены для осмотра на деревянном паллете.

В картере среднего моста были выявлены 6 металлических кусков неправильной формы в разной степени покрытых ржавчиной и ролик от подшипника. Эти металлические составляющие были помещены экспертом в полиэтиленовый пакет и изъяты для проведения исследований в лаборатории Воронежского государственного технического университета.

Болты крышки механизма привода муфты блокировки межколесного дифференциала среднего моста исследуемого ТС механический повреждений не имеют, грани не сбиты, что позволяет сделать вывод, что болты не откручивались, постороннего вмешательства в механизм не было [5].

На всех 10-ти зубьях полумуфты полуоси блокировки межколесного дифференциала среднего моста выявлены забоины и динамические следы, преимущественно в верхней части зуба (рисунок 1) [6].



**Рис. 1.** Муфта межколесного дифференциала среднего моста

Разборка механизма привода муфты межколесного дифференциала среднего моста исследуемого ТС показала следующее:

- диафрагма повреждений не имеет;
- поршень и стержень механизма блокировки повреждений и задиrow не имеют;
- возвратная пружина вилки блокировки не повреждена, выполняет свой функционал;
- шток вилки блокировки не поврежден.

На обоих сухарях вилки включения межколесной блокировки среднего моста выявлен износ.

Полумуфта полуоси блокировки межколесного дифференциала среднего моста перемещается по шлицам левой полуоси исследуемого ТС без заеданий, шлицы муфты не повреждены, на шлицах левой полуоси выявлены следы от перемещения муфты [7].

В левой и нижней части (область сливной пробки) картера среднего моста выявлены многочисленные забоины. На сливном отверстии среднего моста выявлено вещество серого цвета [8]. Со слов представителя истца было установлено, что после обнаружения течи масла со сливного отверстия сотрудники ХХХ “ХХХХХХХ” собственными силами заделали трещину “холодной сваркой”.

Левый роликовый конический подшипник дифференциала отсутствует на своем посадочном месте, правый - механических повреждений не имеет, вращается без заеданий и перекатов (рисунок 2).



**Рис.2.** Дифференциал редуктора среднего моста

На зубьях ведущей цилиндрической шестерни редуктора среднего моста исследуемого ТС сколов, забоин, следов перегрева и т.д. не выявлено, на зубьях ведомой шестерни редуктора среднего моста обнаружены забоины, следов перегрева и “масляного голодания” не обнаружено.

На зубьях шестерни чашки дифференциала среднего моста исследуемого ТС выявлены многочисленные забоины, сколы, задиры материала.

На шестернях полуосей, сателлитах, крестовине дифференциала редуктора среднего моста следов перегрева, “масляного голодания”, катастрофического износа, сколов, задиров и т.д. не выявлено.

Шлицы шестерен полуосей дифференциала среднего моста исследуемого ТС не повреждены.

Идентификационный номер исследуемого среднего моста – XXXXXX [9].

На зубьях ведомой конической шестерни следов катастрофического износа, сколов, следов перегрева не выявлено, на зубьях ведущей конической шестерни следов катастрофического износа, сколов, следов перегрева не выявлено [10]. Передаточное число главной передачи редуктора среднего моста исследуемого транспортного средства – 5,94.

На крышке левого подшипника дифференциала выявлены забоины и глубокие царапины, на крышке правого подшипника дифференциала повреждений не выявлено.

По результатам проведенного экспертного осмотра можно уверенно говорить, что на всех составляющих редуктора среднего моста автомобиля КАМАЗ 43118-46 отсутствуют следы перегрева деталей и редуктор не работал в режиме “масляного голодания” [11]. Дальнейшие исследования, в том числе в лаборатории Воронежского государственного технического университета, будут нацелены на то, чтобы определить причину поломки редуктора среднего моста и муфты блокировки дифференциала транспортного средства КАМАЗ 43118-46.

В результате экспертного осмотра эксперт установил, что исследуемое транспортное средство КАМАЗ 43118-46 оборудовано механизмом блокировки межколесного дифференциала. В заключении эксперта следует привести принципиальную схему механизма блокировки межколесного дифференциала среднего моста исследуемого ТС [12].

При движении автомобиля на повороте внутренние и внешние колеса (по отношению к центру поворота) испытывают различное сопротивление, соответственно изменяются и усилия, действующие на полуосевые шестерни. Под действием разного давления со стороны полуосевых шестерен сателлиты начинают вращаться на своих осях, перекатываясь по полуосевой шестерне, связанной с внутренним колесом, и увеличивая скорость вращения шестерни, связанной с наружным колесом.

При определении причин поломки редуктора среднего моста и муфты блокировки дифференциала транспортного средства КАМАЗ 43118-46 эксперт рассматривал несколько версий, основными из которых являются:

1. Некачественный материал, из которого изготовлены детали редуктора среднего моста и муфты блокировки дифференциала.

2. Маневрирование, например, поворот (разворот) с включенной блокировкой межколесного дифференциала среднего моста автомобиля.

Для проверки первой версии экспертом были проведены исследования отобранных в процессе экспертного осмотра образцов в лаборатории Воронежского государственного технического университета.

На всех осмотренных фрагментах присутствуют следы пластической деформации в виде сглаженных кромок. Эта пластическая деформация носит вторичный характер - сглаживание кромок произошло после разрушения, в результате взаимного трения фрагментов друг о друга и об остальные детали механизма. В результате данной деформации частично повреждены поверхности изломов исследуемых фрагментов.

Для фрактографического исследования был выбран фрагмент с наиболее сохранившейся поверхностью разрушения. В заключении эксперта представить фотографию общего вид данного фрагмента с обозначенными зонами разрушения.

### **Измерение твердости**

Проводилось по методу Бринелля на приборе ТШ-2 по ГОСТ 9012-59. Измерение проводилось на полумуфте левой полуоси исследуемого транспортного средства. Индентор – стальной шарик диаметром  $D = 10$  мм. Усилие  $F = 29420$  Н. Продолжительность выдержки  $t = 10$  сек.

Твердость – это способность материала сопротивляться вдавливанию в него более твердого тела (индентора) под действием внешних сил.

При стандартном (ГОСТ 9012-59) измерении твердости по Бринеллю стальной шарик диаметром  $D$  вдавливается в испытуемый образец под нагрузкой  $F$ , приложенной в течение времени  $t$ .

После снятия нагрузки измеряют диаметр отпечатка  $d$  оставшегося на поверхности образца отпечатка. В поверхностном слое под индентором идет интенсивная пластическая деформация, а диаметр отпечатка получается тем меньше, чем выше сопротивление металла образца деформации, производимой индентором. Число твердости по Бринеллю (НВ) есть отношение нагрузки  $F$ , действующей на шаровой индентор диаметром  $D$  и площади шаровой поверхности отпечатка.

В заключении эксперта представить фотографию процесса измерения твердости по методу Бринелля на полумуфте левой полуоси.

В результате проведенных исследований в результате 3-х кратного измерения получен средний диаметр отпечатка  $d = 2,54$  мм. При данном диаметре отпечатка  $d$  твердость по Бринеллю исследуемого образца составляет НВ 582.

Временное сопротивление металла исследуемого образца (предел прочности) равно:

$$\sigma_B = (3,0 \div 3,6) \cdot \text{НВ} = 1746 \div 2095,2 \text{ МПа.}$$

Полученное значение временного сопротивления (предела прочности) соответствует высокопрочной стали.

### **Фрактографические исследования**

Анализ изломов был сделан на обломанной части отобранного металлического фрагмента полумуфты чашки дифференциала на микроскопе FL-150. Фрактограммы приведены на рисунках 3 и 4.

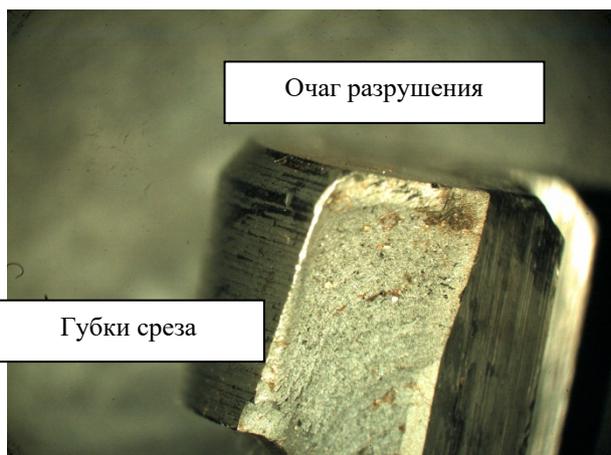


Рис.3. Фрактограмма излома



Рис.4. Фрактограмма излома

Зона разрушения выглядит светлосерой, покрыта продуктами коррозии.

Наличие зоны светлосерого цвета говорит о хрупком изломе. При рассмотрении поверхности излома нетрудно заметить, что она состоит из граней мелких частиц, обладающих значительной отражающей способностью и потому в совокупности создающих сильный металлический блеск. При хрупком изломе разрушение не сопровождается значительной пластической деформацией зерен металла в зоне, прилегающей к поверхности излома. Такая сталь характеризуется пониженной ударной вязкостью. Хрупкое разрушение происходит внезапно при однократном приложении силы или под действием повторных ударных сил при малой степени местной пластической деформации. Структура излома однородна по сечению, то есть нет дефектов металла металлургического производства.

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 динамического нагружения, например в результате удара.

Зона вторичного распространения трещины имеет следы деформации по сдвиговому механизму в виде губок среза. Сдвиговой характер разрушения обусловлен тем, что скорость деформации в данной зоне уменьшилась относительно очага зарождения трещины.

Зона долома имеет грубый рельеф, что свидетельствует о потере устойчивости в сечении при окончательном разрушении.

Анализируя повреждения на зубьях ведомой шестерни среднего редуктора, можно заметить отсутствие хрупкого излома. При этом отчетливо видна пластическая деформация на зубьях ведомой шестерни, которая носит вторичный характер – образование повреждений произошло в результате попадания под шестерню кусков разрушенной полумуфты чашки дифференциала в процессе работы среднего моста исследуемого автомобиля.

**Из всего сказанного выше можно сделать следующие выводы:**

1. Структура излома металлического куска полумуфты чашки дифференциала среднего моста исследуемого транспортного средства однородна по сечению, то есть нет дефектов металла металлургического производства.

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 динамического нагружения, например в результате удара.

3. Пластические деформации, выявленные, например, на зубьях ведомой шестерне среднего моста, носят вторичный характер и образованы от попадания под шестерню кусков разрушенной полумуфты чашки дифференциала в процессе работы среднего моста исследуемого автомобиля.

Далее следует рассмотреть вторую версию выхода из строя редуктора среднего моста и

разрушения муфты блокировки межколесного дифференциала транспортного средства КАМАЗ 43118-46 - маневрирование, например, поворот (разворот) с включенной блокировкой межколесного дифференциала среднего моста автомобиля. В заключение эксперта следует описать работу межколесного дифференциала и привода.

Необходимо отметить, что исследуемое транспортное средство оснащается на заводе-изготовителе межколесными блокировками среднего и заднего мостов. При нажатии водителем на выключатель блокировки межколесного дифференциала, на панели комбинации приборов загорается соответствующая контрольная лампа и одновременно включаются межколесные блокировки среднего и заднего мостов, зуммер свидетельствующий о включении блокировок на исследуемом транспортном средстве отсутствует.

Эксперт в своей практике несколько раз сталкивался с разрушением мостов грузовых автомобилей [13]. При этом разрушались именно средние, а не задние мосты. Ниже эксперт рассмотрит причину разрушения средних, а не задних мостов грузовых транспортных средств [14].

Известно, что при повороте (развороте) транспортного средства, колеса среднего и заднего мостов проходят разные расстояния и имеют разные угловые скорости.

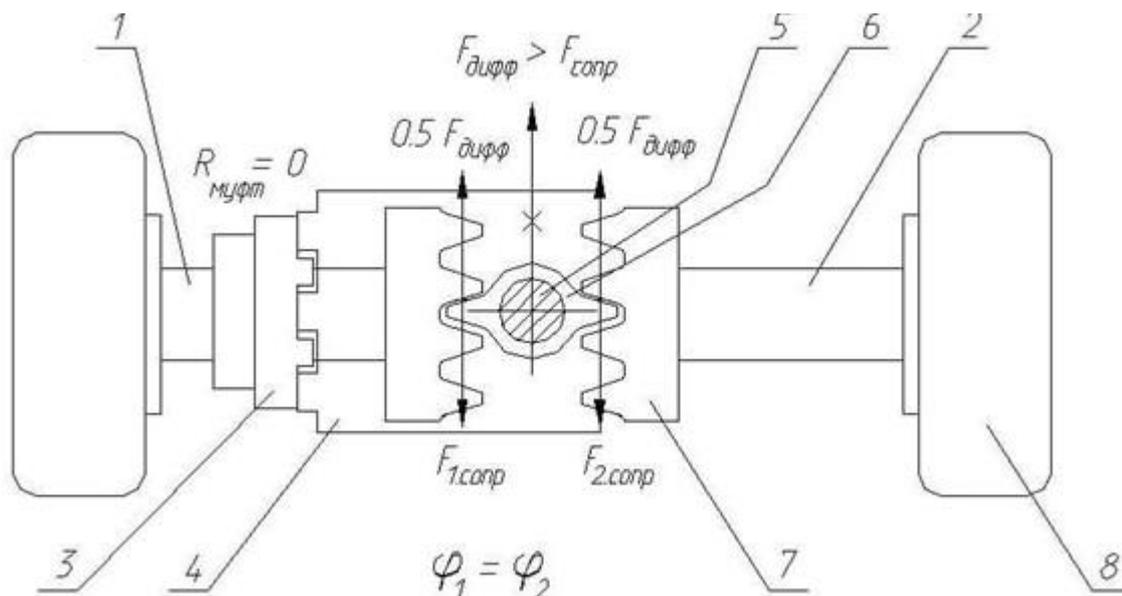
Если средние и задние колеса постоянно заблокированы (например, при включенной межколесной блокировке), то при движении машины на повороте, когда колеса идут по дугам разного радиуса возникает кинематическое рассогласование (кинематическое несоответствие).

При включенной межколесной блокировке угловые скорости колес одинаковы, а моменты, приложенные к колёсам на повороте разные. Эти моменты дают встречнонаправленную нагрузку через жесткосвязывающую муфту блокировки на детали редуктора, нагрузку направленную на разрушение деталей редуктора или муфты блокировки.

Таким образом, разрушение происходит в редукторе или муфте блокировке межколесного дифференциала именно среднего моста, т.к. колеса заднего моста при повороте (развороте) проскальзывают относительно дороги.

#### Критический крутящий момент на муфте межколесной блокировки

При прямолинейном движении (рисунок 4) и трогании с места со стороны автомобиля на межколесный дифференциал действует суммарная сила сопротивления  $F_{сопр}$ .



**Рис. 4.** Силы, действующие на средний мост транспортного средства при движении по прямой  
1 – полуось левая, 2 – полуось правая, 3 – муфта блокировки, 4 – чашка дифференциала, 5 – ось сателлита, 6 – сателлит, 7 - полуосевая шестерня, 8 - колесо

Пока имеет место равновесие сил  $F_{дифф}$  и  $F_{сопр}$  автомобиль находится в покое. При увеличении  $F_{дифф}$  на величину  $F_{дифф}$  начинается движение автомобиля, дифференциал начинает вращаться, но в самом дифференциале относительное вращение между шестернями отсутствует в виду равенства противоположных сил  $0,5F_{дифф}$  и  $F_{1сопр}$ ,  $F_{2сопр}$  соответственно. Очевидно, что  $F_{1сопр}$  и  $F_{2сопр}$  пропорциональны коэффициентам сцепления  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ . Относительное вращение шестерен в дифференциале возникает при изменении сил сопротивления  $P_{1сопр}$ ,  $P_{2сопр}$ , которые зависят только от коэффициента сцепления колеса с дорогой, так как другие составляющие остаются постоянными во время движения [15].

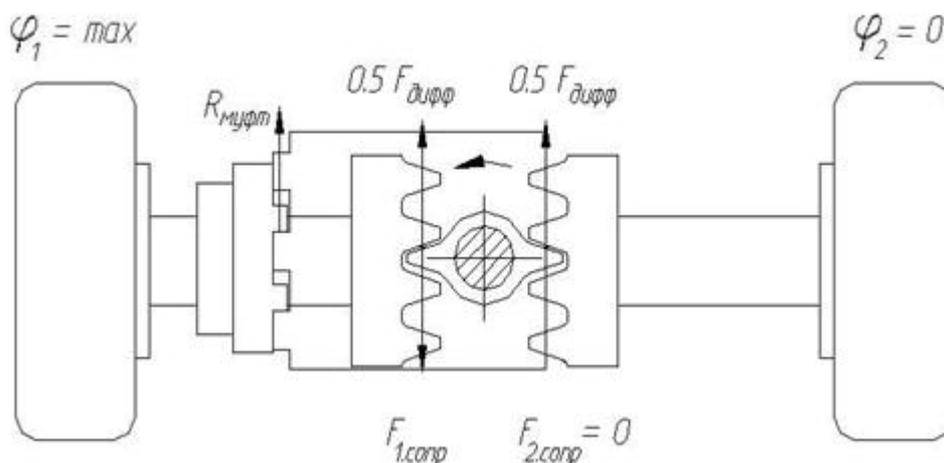
Так при буксовании одного из колес, например правого, коэффициент сцепления  $\varphi_2 = 0$ , следовательно, сила  $F_{2сопр} = 0$ , и сила  $F_{1сопр}$ , начинает вращать сателлит, являющимся двухплечим рычагом, вокруг оси крестовины. Равновесие нарушается. Полуосевые шестерни начинают вращение относительно чашек дифференциала в противоположные стороны. Левая полуосевая шестерня, имеющая сопротивление со стороны силы  $F_{1сопр}$  по отношению к чашкам дифференциала вращается в противоположную сторону, хотя по отношению к дороге находится в покое [15].

Соединение любой из полуосевых шестерен с чашками дифференциала прекращает относительное вращение в дифференциале, тем самым блокирует дифференциал.

### Возможны 2 случая

- колесо, имеющее максимальное сцепление находится на полуоси, где размещена блокировка (рисунок 5).
- колесо, имеющее максимальное сцепление находится на полуоси, где не размещена блокировка (рисунок 6).

### 1 случай



**Рис. 5.** Силы, действующие на средний мост транспортного средства, когда на правом колесе нет нагрузки

Крутящий момент вращает чашки дифференциала. На правом колесе нет нагрузки, сила  $F_{1сопр}$  вращает сателлит относительно оси, стараясь повернуть полуосевую шестерню 1 в обратном направлении. Полуосевая шестерня 1 и полумуфта полуоси подтормаживаются, а чашки дифференциала и полумуфта чашки продолжают вращение, происходит сцепление полумуфт. Дифференциал блокируется.

При этом полумуфты нагружаются крутящим моментом равным максимальному сцепному моменту на левом колесе (правое колесо вывешено, следовательно, на нем нет нагрузки - сила  $F_{2сопр} = 0$ ).

## 2 случай

Крутящий момент вращает чашки дифференциала. На правом колесе нет нагрузки, сила  $F_{2\text{сопр}}$  вращает сателлит относительно оси, стараясь повернуть полуосевую шестерню 1 и полу-муфту полуоси по направлению движения. Полуосевая шестерня 2 и чашка дифференциала движутся медленнее, происходит сцепление полу-муфт. Дифференциал блокируется [15].

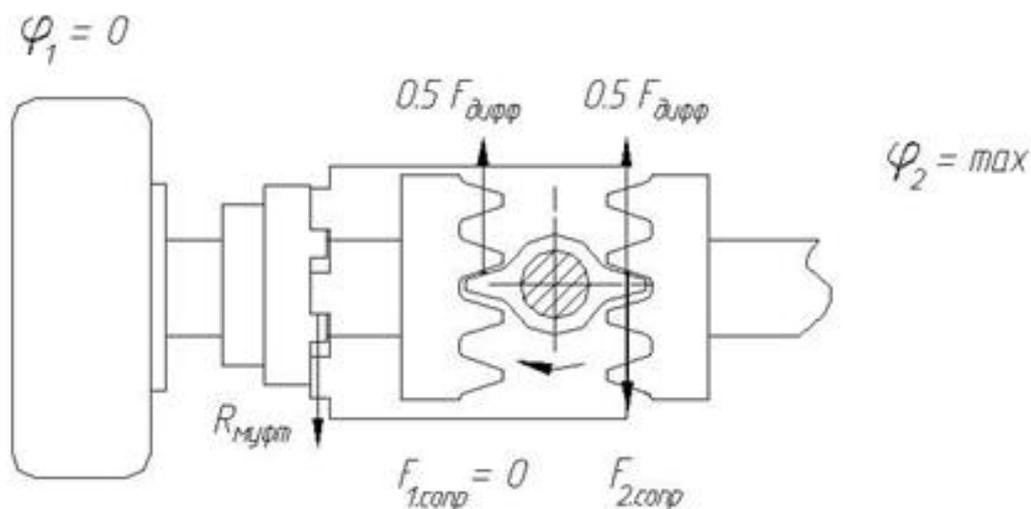


Рис. 6. Силы, действующие на средний мост транспортного средства, когда на левом колесе нет нагрузки

При этом полу-муфты нагружаются крутящим моментом равным максимальному сцепному моменту на правом колесе (левое колесо вывешено, следовательно, на нем нет нагрузки - сила  $F_{1\text{сопр}} = 0$ ).

### Критический крутящий момент

Критический крутящий момент на муфте блокировки возникает при включенной блокировке, при повороте (развороте) транспортного средства, нагруженном максимальной нагрузкой и имеющем наибольший коэффициент сцепления колеса с дорогой. При этом каждая полуось со своей стороны, ввиду дифференциальной связи между полуосевыми шестернями, передает на полу-муфты момент пропорционально сцепному весу на колесе. В таком случае муфта нагружается крутящим моментом ограниченным сцепным весом транспортного средства на колесе. При превышении критического крутящего момента на муфте блокировки, она разрушается. Разрушение происходит с достаточно большой скоростью, т.к. является следствием динамического нагружения [15].

Возвращаясь к исследованиям, проведенным в лаборатории Воронежского государственного технического университета, можно говорить, что причиной поломки редуктора среднего моста транспортного средства КАМАЗ 43118-46 стало разрушение полу-муфты чашки дифференциала в результате превышения критического крутящего момента на муфте блокировки при включенной блокировке, при повороте (развороте) транспортного средства.

Все остальные деформации элементов редуктора среднего моста исследуемого транспортного средства, которые были выявлены в процессе экспертного осмотра можно отнести к пластическим деформациям, которые носят вторичный характер.

Другими словами можно сказать, что первой в результате маневрирования транспортного средства (поворот, разворот и т.д.) с включенной блокировкой межколесного дифференциала разрушилась полу-муфта чашки дифференциала. Разрушение произошло в результате превышения критического крутящего момента на муфте блокировки и происходило с достаточно большой скоростью. Далее части разрушенной полу-муфты чашки дифференциала стали попадать в картере среднего моста исследуемого ТС и с маслом переноситься к другим деталям агрегата. Процесс попадания кусков разрушенной полу-муфты чашки дифференциала под шестерни среднего моста носил хаотичный характер. Затем в результате взаимного трения фрагментов друг о друга и об остальные детали механизма произошло сглаживание кромок (пластическая деформация) отдельных составляющих исследуемого среднего моста.

На основании всего вышесказанного можно сделать вывод, что причиной поломки редуктора среднего моста и муфты блокировки дифференциала транспортного средства КАМАЗ 43118-46 является маневрирование транспортного средства (например, поворот, разворот и т.д.) с включенной блокировкой межколесного дифференциала.

#### Библиографический список

1. Россинская Е. Р. О правовом статусе судебного эксперта // Вестник Университета имени О. Е. Кутафина. 2018. № 7. С. 15–24.
2. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория: Учебник для вузов. - Мн.: Выш. шк., 1986. - 208 с.
3. Faure M.G. The View from Law and Economics. In: Wagner G. (ed.) Tort Law and Liability Insurance. Vol. 16. N.Y.: Springer, 2005. P. 239–273.
4. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие для техн. спец. вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1998. - 447 с.
5. Марголис С.Я. Мосты автомобилей и автопоездов.- М.: Машиностроение, 1983. - 160 с.
6. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х т. Т.1, - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1978. - 728 с.
7. Осепчугов В.В., Фрумкин А.К. Автомобиль. Анализ конструкций, элементы расчета: Учебник для студентов вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство».- М.: Машиностроение, 1989.-304 с.
8. Белкин Р.С. Криминалистическая энциклопедия. 2-е изд., доп. М.: Мегатрон XXI, 2000. 334 с.
9. Россинская Е.Р., Галяшина Е.И., Зинин А.М. Теория судебной экспертизы (судебная экспертология): учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Норма, 2017. 368 с.
10. Майлис Н.П. Судебная трасология: учебник для студентов юридических вузов. М.: Экзамен, 2003. 272 с.
11. Исследование недостатков легковых автомобилей отечественных моделей, находящихся в эксплуатации. Методическое руководство для экспертов и судей. М.: РФЦСЭ, 2006. 42 с.
12. Россинская Е.Р. Актуальные проблемы подготовки судебных экспертов и дополнительного образования по отдельным экспертным специальностям // Теория и практика судебной экспертизы. 2018. Том 13. № 3. С. 78–85.
13. Россинская Е.Р., Галяшина Е.И., Зинин А.М. Теория судебной экспертизы (судебная экспертология): учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Норма, 2017. 368 с.
14. Зинин А.М. Участие специалиста в процессуальных действиях. Учебник. М.: Проспект, 2014. 254 с.
15. Яскевич З. Ведущие мосты. Пер. с польск. Г.В. Коршунова; - М.: Машиностроение, 1985. - 600 с.
16. Тарасов Е.А. Новые уплотнения подвижных соединений для гидроцилиндров рекуперативных систем строительных машин // Высокие технологии в строительном комплексе. 2019. № 1. С. 180–185.
17. Тарасов Е.А. Пример заключения специалиста по исследованию причин неисправности гидроблока АКПП в процессе производства автотехнической экспертизы // Высокие технологии в строительном комплексе. 2019. № 2. С. 146–156.

#### References

1. Rossinsky, E. R. On the legal status of a forensic expert // Bulletin of the University named after O. E. Kutafin. 2018. No. 7. Pp. 15-24.
2. Grishkevich A. I. Cars: Theory: Textbook for universities. - Meganewton.: No. SHK., 1986. - 208 p.
3. Faure M.G. The View from Law and Economics. In: G. Wagner (ed.) Tort Law and Liability Insurance. Vol. 16. N. Y.: Springer, 2005. P. 239-273.

4. P. F. Dunaev, O. P. Lelikov of Design of units and details of machines: Textbook. manual for tech. spets. higher educational. - 5th ed., pererab. and additional-M.: Higher school, 1998. - 447 PP.
5. Margolis S. Y. Bridges of cars and road trains.- Moscow: Mashinostroenie, 1983. - 160 PP.
6. Anuriev V. I. Handbook of the designer-machine-Builder in 3 vols. 1, - 5th ed., Rev. and extra - M.: Mashinostroenie, 1978. - 728 PP.
7. Usachov V. V., Frumkin, A. K. Car. Analysis of structures, elements of calculation: Textbook for University students majoring in "Cars and automotive industry".- Moscow: Mashinostroenie, 1989.-304 PP.
8. Belkin R. S. Criminalistics encyclopedia. 2nd ed., additional M.: Megatron XXI, 2000. 334 PP.
9. Rossinsky, E. R., Galyashina E. I., Zinin, A. M. the Theory of judicial review (judicial expertology): textbook. 2nd ed., pererab. and additional M.: Norma, 2017. 368 PP.
10. Mailis N. P. Forensic trace evidence: a textbook for law students. Moscow: Exam, 2003. 272 PP.
11. Research of shortcomings of cars of the domestic models which are in operation. Guidelines for experts and judges. M.: Federal center of forensic expertise, 2006. 42 PP.
12. Rossinskaya E. R. Actual problems of training of forensic experts and additional education in certain expert specialties.theory and practice of forensic examination. 2018. Volume 13. No. 3. Pp. 78-85.
13. Rossinsky, E. R., Galyashina E. I., Zinin, A. M. the Theory of judicial review (judicial expertology): textbook. 2nd ed., pererab. and additional M.: Norma, 2017. 368 PP.
14. Zinin, A. M., expert Participation in legal proceedings. Textbook. Moscow: Prospect, 2014. 254 PP.
15. Yaskevich Z. Leading bridges. TRANS. from Polish. G. V. Korshunova; - M.: Mashinostroenie, 1985. - 600 s.
16. Tarasov E. A. New seals of mobile connections for hydraulic cylinders of river - perative systems of construction machines // High technologies in the construction complex. 2019. No. 1. Pp. 180-185.
17. Tarasov E. A. Example of the conclusion of a specialist on the study of the causes of failure of the automatic transmission hydroblock in the process of production of auto technical expertise // High technologies in the construction complex. 2019. no. 2. Pp. 146-156.

*Таласский государственный университет  
проректор по учебной и научной работе,  
к.т.н., доцент М.С. Тургунбаев  
Киргизская Республика, г. Талас*

*Talas State University  
Vice-Rector for Academic Affairs, Ph.D.,  
Associate Professor M.S. Turgunbaev  
Kyrgyz Republic, Talas*

М.С. Тургунбаев

## **К ВОПРОСУ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ГРУНТА**

Разработка грунтов, содержащих обломочно-каменные включения землеройными машинами характеризуется значительной энергоемкостью, динамичностью процесса разрушения грунта. Установление законов распределения минеральных частиц, в том числе крупных включений грунта позволяет определить вероятность встречи режущего элемента землеройной машины с крупными фракциями грунта. Определяются наиболее представительные фракции грунта. Определяются закономерности содержания минеральных частиц в зависимости от изменения количества частиц крупнее 2 мм в грунте.

**Ключевые слова:** Законы распределения, минеральные частицы, фракции грунта, обломочно-каменная частица, энергоемкость процесса резания, динамичность процесса резания, вероятность появления обломочно-каменной частицы, вероятность встречи рабочего органа с обломочно-каменной частицей, представительные фракции грунта.

M.S. Turgunbaev

## **TO THE QUESTION OF THE LAW OF DISTRIBUTION OF MINERAL PARTICLES OF SOIL**

The development of soils containing debris-stone inclusions by earthmoving machines is characterized by significant energy intensity, the dynamic process of soil destruction. Establishing the laws of distribution of mineral particles, including large inclusions of soil, allows us to determine the probability of a cutting element of an earth moving machine meeting with large fractions of soil. It was determined the most representative fraction of the soil. The patterns of changes in mineral particles are established depending on changes in the content of particles larger than 2 mm in the soil.

**Key words:** Distribution laws, mineral particles, soil fractions, rock particle, energy intensity of the cutting process, dynamism of the cutting process, probability of occurrence of a rock particle, probability of meeting the working body with a rock particle, representative fractions of the soil.

Площадь каменистых почв в Кыргызской Республике только в зоне земледелия составляет около 3809 тыс. га, в том числе: слабокаменистых – 1477 тыс. га; среднекаменистых – 1495 тыс. га; сильнокаменистых -10,4 тыс. га [1].

По своей природе грунты в той или иной степени неоднородны: их состав, строение и свойства изменяются от одного места к другому. В связи с этим, для достоверной и надежной характеристики грунтов производят множество экспериментов по определению их

свойств и составов в лабораторных и полевых условиях. Для надежного установления законов распределения минеральных частиц и вероятностных физико-механических характеристик разрабатываемых грунтов потребовалась статистическая обработка паспортов грунтов, полученных из десятков различных точек территории Кыргызской Республики, которые обладают свойством репрезентативности.

Установление законов распределения частиц гранулометрического состава позволяет выявить вероятность встречи рабочего органа землеройной машины с фракциями разных размеров грунта, прогнозировать нагрузки на рабочее оборудование машин при разработке грунтов, содержащих крупные обломочно-каменные включения. Актуальность исследований отмечается этими положениями.

Гранулометрический (зерновой) состав грунта определяют по массовому содержанию в нем частиц различной крупности, выраженному в процентах по отношению к массе сухой пробы грунта, взятой для анализа [2]. В паспорте грунта указывается удельное массовое содержание частиц в сухом состоянии, в процентном отношении: глинистых (менее 0,005 мм), пылеватых (0,005...0,05 мм), песчаных (0,05...2 мм), гравийных (2...10 мм), галечниковых (10...200 мм) и валунных (свыше 200 мм) по результатам гранулометрического анализа. Из паспорта грунта выделяются пылеватоглинистые, песчаные, гравийные, галечниковые и валунные частицы грунта. Указанные фракции грунта разделяются на градации (табл.1).

Таблица 1

Градации фракций включений грунта

Размеры фракций, мм							
0	1	2	3	4	5	6	7
пылеватоглинистые	песок	гравий ( $m_4$ )	галечник ( $m_5$ )	галечник ( $m_6$ )	галечник ( $m_7$ )	галечник ( $m_8$ )	валун ( $m_9$ )
0,005-0,05	0,05-2	2-10	10-40	40-70	70-100	100-200	>200

Паспорта грунтов разделены на группы по строительно-климатическим районам Кыргызской Республики [3]. Разделение гранулометрического состава грунта на градации позволяет установить наиболее представительные фракции, которые по-разному влияют на: динамичность и энергоемкость разработки грунта; надежность работы землеройных машин; абразивные свойства разрабатываемых грунтов.

Установлено, что камни распределены в почвенном слое равномерно, и имеют приблизительно одинаковый фракционный состав при различной степени каменистости грунтов [4].

Для определения эмпирической вероятности (частоты) рассчитаны средне взвешенное значение частоты появления фракций  $i$ -того размера. В результате проведенных исследований установленные законы распределения минеральных частиц грунтов не противоречат закону распределения Пуассона (табл.2)

$$P(f) = \frac{m^f}{f!} e^{-m} \quad (f = 0, 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где  $m$  – математическое ожидание,  
 $f$  – минеральная частица  $i$ -того размера.

Таблица 2

Результаты статистического расчета для грунта, содержащего 15...25% частиц крупнее 2мм

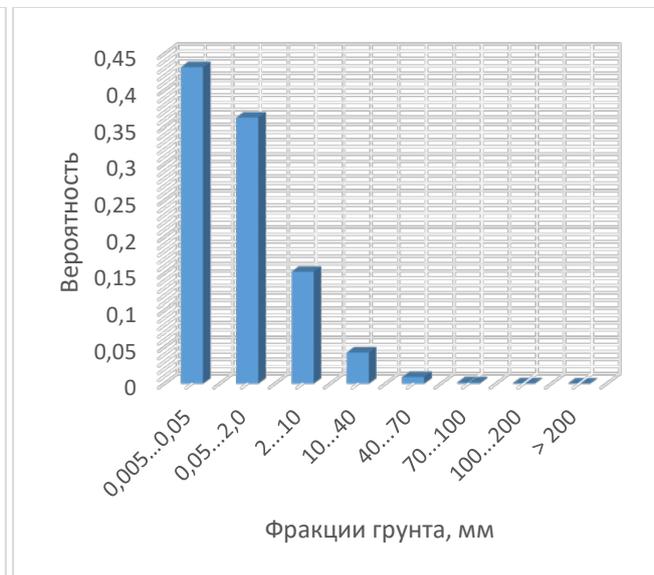
№	Размер фракций, мм	Частота	Эмпирическая частота	Матожидание	Дисперсия	Теоретическая вероятность	Расхождение	Мера
0	0,005...0,05	43	0,43	0	0,43	0,432	2,9E-06	6,7E-06
1	0,05...2	40	0,4	0,4	0	0,362	0,0013	0,00385
2	2...10	10	0,04	0,2	0,1	0,152	0,0027	0,01796
3	10...40	4	0,03	0,12	0,16	0,043	7E-06	0,00016
4	40...70	3	0	0,12	0,27	0,009	0,00044	0,049
5	70...100	0	0	0	0	0,0015	2,2E-06	0,0015
6	100...200	0	0	0	0	0,00021	4,4E-08	0,0002
7	> 200	0	0	0	0	0,000025	6,9E-10	2,5E-05
				0,84	0,53	0,99999		7,31

Проверка согласованности экспериментальной плотности распределения с теоретической, производится с помощью критерия Пирсона. При уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и степеней свободы 5, критическое значение критерия Пирсона равняется 11,07 [5],[6]. Расчетное значение критерия Пирсона равняется для грунтов с содержанием частиц крупнее 2 мм: менее 15% - 5,61, 15...25% - 7,31, 25...50% - 5,18, более 50% - 9,59, которые меньше критического значения критерия и дают основание принятия гипотезы о распределении минеральных частиц грунта по закону Пуассона.

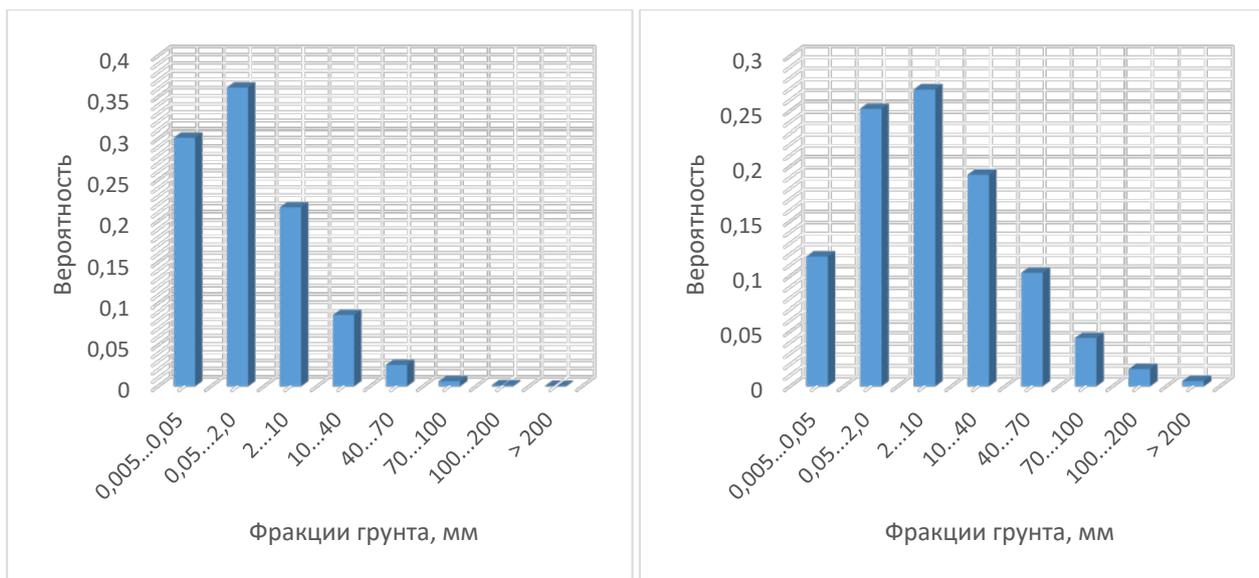
На рис.1, рис.2 показаны изменения вероятностного фракционного состава в зависимости от содержания в грунте минеральных частиц крупнее 2 мм по 1 строительному району республики.



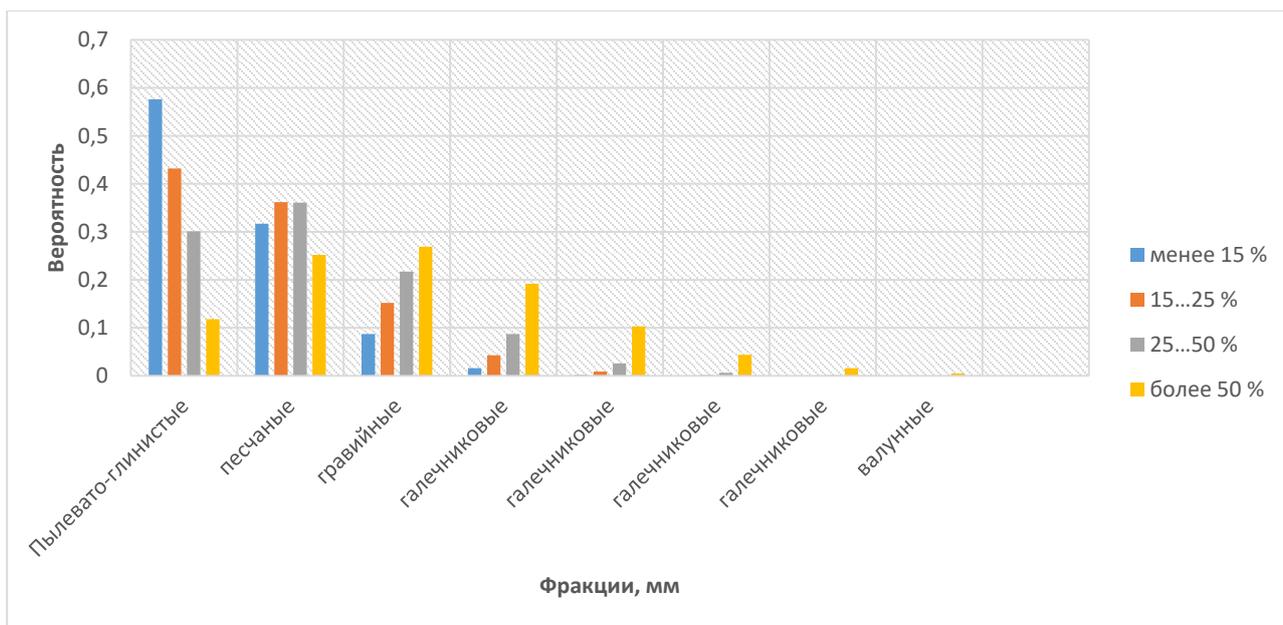
а)



б)



**Рис. 1.** Распределение вероятностей суглинистого, супесчаного грунтов для I строительного-климатического района с содержанием фракций крупнее 2 мм: а) менее 15%; б) 5...25%; в) 25...50%; г) более 50%



**Рис. 2.** Распределение вероятностей минеральных частиц грунта для I строительного-климатического района с содержанием фракций крупнее 2 мм: а) менее 15%; б) 5...25%; в) 25...50%; г) более 50%

Анализ рис.1 показывает, что с увеличением содержания частиц крупнее 2 мм снижается содержание пылевато-глинистых (0,005-0,05 мм) с возрастанием вероятности появления гравийных (2-10 мм), галечниковых (10-200 мм) и валунных частиц (>200 мм), а количество песчаных частиц (0,5...2 мм) сначала возрастает, далее снижается. Из анализа рис.2 следует, что, когда содержание частиц крупнее 2 мм становится более 50% снижение вероятности появления пылевато-глинистых частиц составляет 488,1%, песчаных частиц - 125,8%, вероятности гравийных частиц растут в пределах 32,4%, рост вероятности появления галечниковых частиц находится в пределах 0,125...8,33%, а вероятность встречи рабочего органа с валунами растёт до 0,035%.

По результатам исследований наиболее вероятными фракциями пылеватых и глинистых грунтов, содержащих каменистые включения, являются фракции размерами 2,10,40 мм. При этом значительный научно-практический интерес, с точки зрения трудности резания грунтов, представляет собой фракции размером свыше 40... 100 мм. Изменение суммарной вероятности галечниковых и валунных включений (свыше 40 мм) грунтов с возрастанием содержания крупных частиц показано на рис.3.

С увеличением каменистости грунтов увеличивается вероятность появления минеральных частиц свыше 40 мм, так, например, при возрастании вероятности встречи рабочего органа с обломочно-каменными включениями крупнее 40 мм от 0,0023 (менее 15%) до 0,1678 (более 50%) увеличение суммарной вероятности галечниковых и валунных частиц составляет более 72 раза. Такое создает наиболее неблагоприятный, неэкономичный режим работы для землеройных машин.

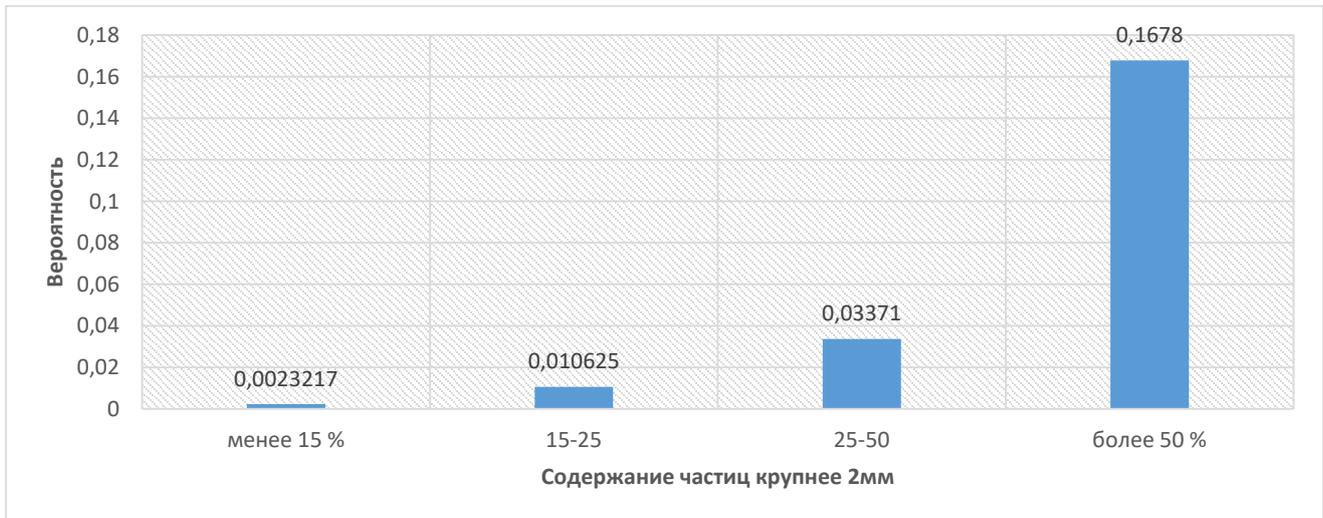


Рис. 3. Изменение суммарной вероятности галечниковых и валунных включений (свыше 40 мм) грунтов с возрастанием содержания крупных частиц в грунте

На основе установленных законов распределения можно определить объем минеральных частиц грунта зависимостью

$$V_i = \frac{m_{e_i}}{\rho_i}, \quad (2)$$

где  $m_{e_i}$  – вероятностная масса минеральных частиц  $i$ -того размера,  
 $\rho_i$  - плотность минеральных частиц  $i$ -того размера.

А вероятностное количество обломочно-каменной частицы  $i$ -того размера определяется выражением

$$n_{e_i} = \frac{m_{e_i}}{m_i}, \quad (3)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -той обломочно-каменной частицы.

В свою очередь масса  $i$ -той обломочно-каменной частицы определяется

$$m_i = \rho_i V_i, \quad (4)$$

Объем фракций грунта определяется зависимостью [7]

$$V_i = \frac{4\pi R_k^3}{3}, \quad (5)$$

где  $R_{ki}$  – радиус фракций грунта.

На рис.4 приведено приближенное (округленное) вероятностное количество галечниковых и валунных частиц (свыше 40 мм), при общей массе разработки грунта 100000 кг, при средней плотности галечниковых и валунных частиц  $\rho_k = 2600 \text{ кг/м}^3$  [8] для I строительного-климатического района.

Из анализа рис.4 следует что, увеличение каменности грунта от менее 15% до более 50% вызывает возрастание вероятностного количества фракций: содержание фракции  $D_{cp} = 0,055 \text{ м}$  увеличивается примерно 46,7 раза, содержание фракции  $D_{cp} = 0,085 \text{ м}$  – 181,6 раза, фракция  $D_{cp} = 0,15 \text{ м}$  возрастает более 342 раза, а фракция  $D_{cp} = 0,3 \text{ м}$  более 13 раза.



Рис. 4. Вероятностное количество галечниковых и валунных частиц грунта

Такие грунтовые условия эксплуатации землеройных машин способствуют возрастанию силовых и энергетических расходов на единицу разработки грунта, появление преждевременных усталостных повреждений и разрушений металлоконструкции вышеуказанных машин. Для прогнозирования условий эксплуатации строительных, дорожных и землеройных машин, рабочих нагрузок на их рабочие оборудования установление законов распределения минеральных частиц грунтов, содержащих обломочно-каменные включения и их вероятностные физико-механические характеристики имеет большую актуальность.

#### Библиографический список

1. [http://econom.caresd.net/Doklad/1\\_degrad.htm](http://econom.caresd.net/Doklad/1_degrad.htm)
2. ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
3. Баканов Б.Т. Проблемы организации и механизации строительства в условиях высокогорья Киргизии. Фрунзе: КиргизНИИНТИ, 1990. - 37 с.
4. Ж.Ж. Тургумбаев, М.С. Тургунбаев Определение закономерностей распределения каменных включений в грунте Известия КГТУ им.Раззакова 22/2011 Бишкек 2011 7-11 с.

5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 2003, - 479 с.
6. Галушко В.Г. Вероятностно- статистические методы на автотранспорте. – Киев: Вища школа, 1976. - 231 с.
7. Алиев И.И. Краткий справочник по математике. М., Радиософт, 2006. с. 44-46.
8. Физические величины. Справочник Бабичев А. П. и др.; Под ред. Григорьева И.С. - М.: Энергоатомиздат, 1991. -1232 с.

#### References

1. [http://econom.caresd.net/Doklad/1\\_degrad.htm](http://econom.caresd.net/Doklad/1_degrad.htm)
2. GOST 12536-2014 Soils. Laboratory methods for determining particle size distribution (grain) and microaggregate composition.
3. Bakanov B.T. Problems of organization and mechanization of construction in the conditions of the highlands of Kyrgyzstan. Frunze: KyrgyzNIIINTI, 1990.-- 37 p.
4. J.J. Turgumbaev, M.S. Turgunbaev Determination of patterns of distribution of stony inclusions in soil Izvestiya KSTU im.Razzakova 22/2011 Bishkek 2011 7-11 p.
5. Gmurman V.E. Theory of Probability and Mathematical Statistics. - M.: Higher School, 2003, - 479 p.
6. Galushko V.G. Probabilistic and statistical methods in motor vehicles. - Kiev: Vishcha school, 1976. - 231 p.
7. Aliev I.I. A quick reference to mathematics. M., Radiosoft, 2006. 44-46.
8. Physical quantities. Reference Babichev A.P. et al .; Ed. Grigoryeva I.S. - M.: Energoatomizdat, 1991. -1232 p.

*Таласский государственный университет  
проректор по учебной и научной работе,  
к.т.н., доцент М.С. Тургунбаев  
Киргизская Республика, г. Талас*

*Talas State University  
Vice-Rector for Academic Affairs, Ph.D., As-  
sociate Professor M.S. Turgunbaev  
Kyrgyz Republic, Talas*

М.С. Тургунбаев

## **ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ УЧАСТКОВ КОНСТРУКЦИИ КОВША ЭКСКАВАТОРА ЭО-2621 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА**

Разработка грунтов с обломочно-каменными частицами характеризуется значительной динамичностью процесса резания грунта. В процессе эксплуатации появляются преждевременные усталостные повреждения металлоконструкции землеройных машин. Производится оценка ресурса работы локальных участков металлоконструкции рабочего органа экскаватора с использованием конечно-элементного анализа. На основе разработанной 3D геометрической модели конструкции ковша со стандартными и адаптируемыми зубьями получено численное решение задачи в системе ANSYS WORKBENCH. Оценивается изменение сопротивления усталости материала конструкции ковша, когда грунт с обломочно-каменной частицей разрабатывается со стандартными и адаптируемыми режущими элементами.

**Ключевые слова:** Ресурс работы конструкции, оценка сопротивление усталости, динамичность процесса резания, стандартный зуб, адаптируемый зуб, конечно-элементный анализ, численное решение, система ANSYS WORKBENCH.

M.S. Turgunbaev

## **ASSESSMENTS OF THE FATIGUE RESISTANCE OF LOCAL SECTIONS OF THE EXCAVATOR BUCKET USING THE FINITE ELEMENT METHOD**

The development of soils with debris-stone particles is characterized by a significant dynamism of the soil cutting process. During operation, premature fatigue damage to the metal structures of earth moving machines appears. The resource of work of local sections of the metal structure of the working body of the excavator is estimated using finite element analysis. Based on the developed 3D geometric model of the bucket construction with standard and adaptable teeth's, a numerical solution to the problem is obtained in the ANSYS WORKBENCH system. The change in the fatigue resistance of the material of the bucket structure is estimated when the soil with a fragmentary stone particle is developed with standard and adaptable cutting elements.

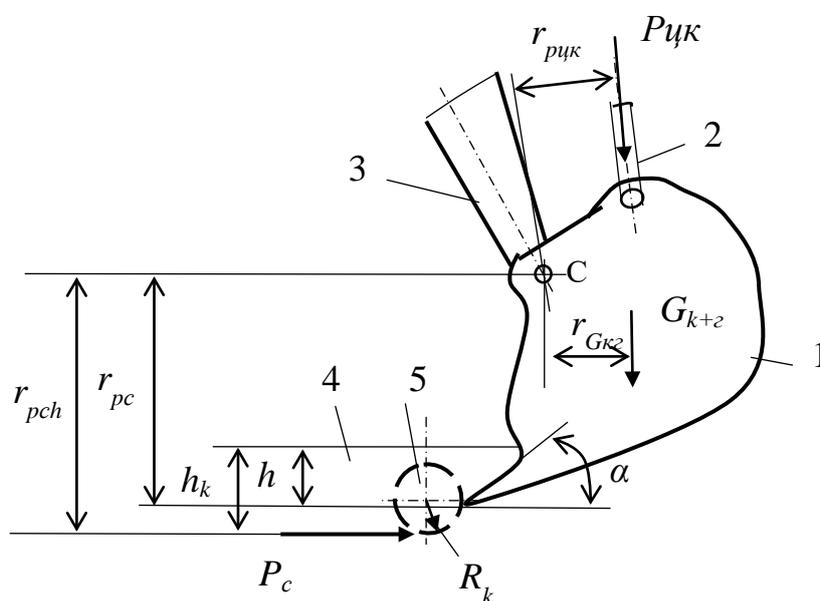
**Key words:** Service life of the structure, assessment of fatigue resistance, dynamics of the cutting process, standard tooth, adaptable tooth, finite element analysis, 3D geometric model, numerical solution, ANSYS WORKBENCH system.

При анализе конструкций землеройных машин, в настоящее время актуальным становится решение общей задачи – оценка ресурса работы элементов конструкции. Одним из причин усталостных повреждений конструкций и их элементов является многоцикловая усталость. В работе [1] приведены усталостные повреждения и частоты их появления в «опасных точках» рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов, эксплуатируемых в грунтовых условиях Кыргызской Республики. В реальных условиях эксплуатации появляются непропорциональные нагрузки конструкции и элементов землеройных машин.

Рассмотрим возможности системы ANSYS WORKBENCH [2]. Применяемые методы в данной платформе учитывают рекомендации по оценке сопротивления усталости, приведенные в государственных стандартах [3,4]. На основе разработанной 3D геометрической модели определяется степень поврежденности материала элементов конструкции ковша в ходе многоциклового усталости с использованием конечно-элементного анализа.

Объектом исследования является нагруженность и изменение сопротивление усталости локальных участков конструкции ковша экскаватора ЭО-2621. Выбор гидравлического экскаватора ЭО-2621 объясняется тем, что основная доля работы малой механизации выполняется этими экскаваторами.

В металлоконструкциях ходового и рабочего оборудования землеройных машин появляются преждевременные повышенные зазоры в сопрягаемых деталях и усталостные повреждения из-за переменных напряжений во времени, появляющихся, особенно при резании грунта с вдавливанием обломочной частицы в массив грунта [1]. Известно, что наиболее нагруженное состояние элементов рабочего оборудования экскаватора наблюдается в так называемых расчетных положениях [5]. Максимальная сила сопротивления грунта резанию на режущем периметре ковша, предусмотренной технической характеристикой экскаватора равняется  $P_{pmax} = 25700$  н [6].



**Рис. 1.** Расчетная схема ковша 1 - ковш, 2 – гидроцилиндр ковша, 3 – рукоять, 4 – грунт, 5 - сферическое обломочно-каменное включение,  $R_k$  – радиус обломочной частицы,  $\alpha$  – угол резания, С - шарнир крепления ковша,  $P_c$  – сила сопротивления грунта резанию,  $G_{k+z}$  – сила тяжести ковша с грунтом,  $P_{цк}$  – реактивная сила, действующая на цилиндр ковша,  $r_{pch}$  – плечо силы сопротивления относительно точки С,  $r_{рцк}$  – плечо усилия цилиндра ковша относительно точки С,  $r_{Gкz}$  – плечо силы тяжести ковша с грунтом относительно точки С

Рассматривается случай попадания на режущий элемент ковша только одной каменной частицы в начале процесса резания грунта (рис.1). Составляем уравнение моментов сил, относительно точки С

$$P_c r_{Pc} - P_{цк} r_{рцк} - G_{кз} r_{G_{кз}} = 0, \quad (1)$$

Отсюда имеем

$$P_{цк} = \frac{P_c r_{Pc} - G_{кз} r_{G_{кз}}}{r_{рцк}}, \quad (2)$$

Плечо силы сопротивления грунта резанию определяется

$$r_{рч} = r_{рc} + k_h R_k, \quad (3)$$

где  $k_h$  – коэффициент, зависящий от глубины залегания обломочной частицы.

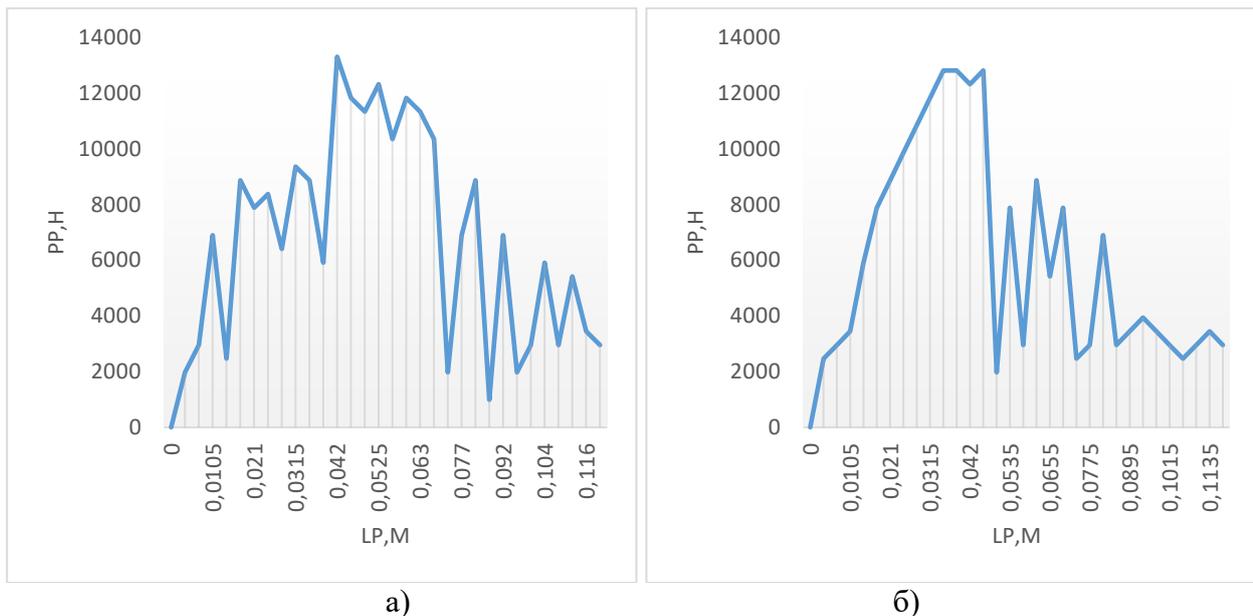
Проведены опытные работы на стенде [7] по резанию грунта, содержащего обломочно-каменное включение близко сферической формы с  $R_k = 0,0685$  м стандартным и адаптируемым режущим элементом (табл.1). Грунт разрушается с вдавливанием обломочной частицы в массив грунта, блокированное резание [8].

Таблица 1

Параметры грунта и его резания

Параметры грунта				Параметры резания					
$\gamma$ , н/м <sup>3</sup>	$C$ , н/м <sup>2</sup>	$\varphi$ ,	$\varphi_0$ ,	$\alpha$	$h$ , м	$b$ , м	$k_{пр}$	$k_h$	$v$ , м/с
19430	54000	34,5 <sup>0</sup>	26,25 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	0,2	0,08	1,4	1,75	0,5
Стандартный режущий элемент, $P_{max}$ , н								13307,07	
Адаптируемый режущий элемент, $P_{max}$ , н								12814,21	
Однородная зона, $P_o$ , н								2966,52	

Изменение силы резания грунта приведено на рис.2: а) – стандартный режущий элемент, б) – адаптируемый режущий элемент.



**Рис. 2.** Изменение силы резания грунта:  
а) со стандартным режущим элементом, б) адаптируемым режущим элементом

Из [6] определены  $r_{pc} = 0,45$  м,  $r_{pцк} = 0,225$  м, тогда по формуле 3 значение  $r_{pch} = 0,5699$  м. В таком случае, реактивная сила на гидроцилиндре ковша равна:  $P_{цк} = 57257,39$  н. Разработана конструкция адаптируемого зуба, предназначенной для снижения динамичности процесса резания грунтов, содержащих обломочно-каменные включения [9].

На рис.3. представлены блоки проекта ANSYS WORKBENCH, в которых производятся необходимые этапы расчетов статического анализа.

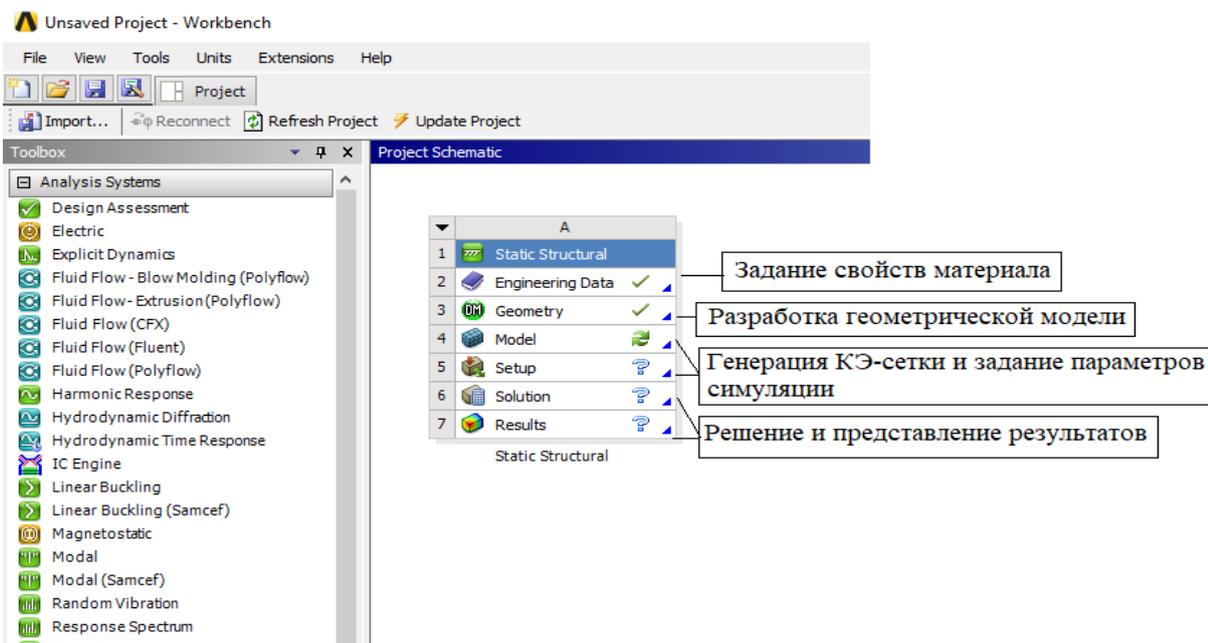


Рис. 3. Этапы расчетов статического анализа ковша в блоках проекта ANSYS WORKBENCH

В библиотеке материалов (*ANSYS/v120/Addins/Engineering Data)/Language/<Lang>Samples*), которая находится в блоке *Engineering Data* задается конструкционная сталь с необходимыми прочностными и усталостными свойствами для конструкции ковша. Разработанная геометрическая модель ковша экскаватора ЭО 2621 в соответствии с [6] в программном комплексе *Solid Works* импортируется в *ANSYS* (рис.4).

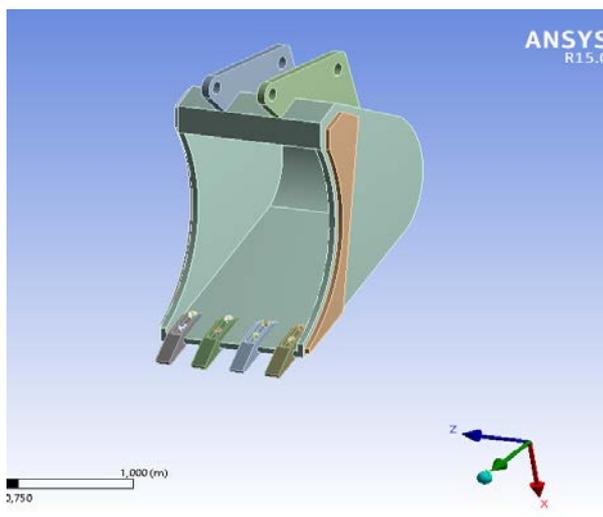
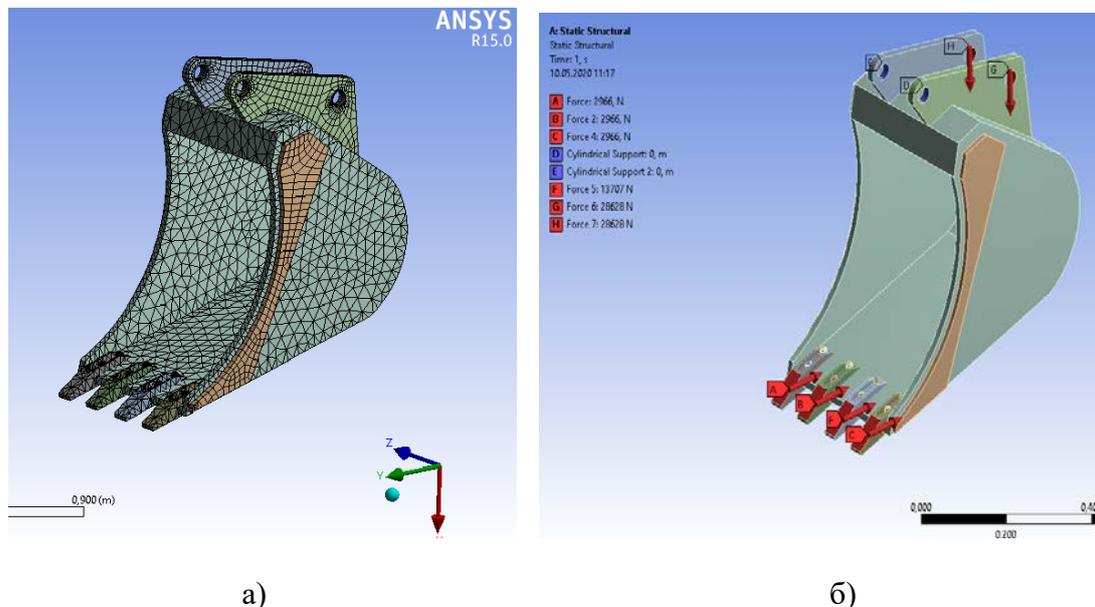


Рис. 4. Геометрическая модель ковша экскаватора ЭО 2621, разработанная в программном комплексе *Solid Works*

Численное решение задачи предполагает разбиение конструкции ковша на конечно-элементную сетку, которое выполняется в модуле симуляции *Mechanical*. Геометрическая модель разбивается на конечную сетку, и она является основой для составления и решения системы уравнений в матричном виде. Устанавливаются плотность, форма и размеры конечных элементов для генерации сетки: *Sizing/Relevance Center/Coarse/Fine*. С помощью *Span Angle Center/Fine* размеры элементов на ребрах с учетом кривизны конструкции ковша экскаватора получены мелкими (рис.5а), определение внешних нагрузок и граничных условий для конструкции ковша приведено на рис.5б.



а) б)

**Рис. 5.** Конечная элементная сетка на конструкции ковша экскаватора:

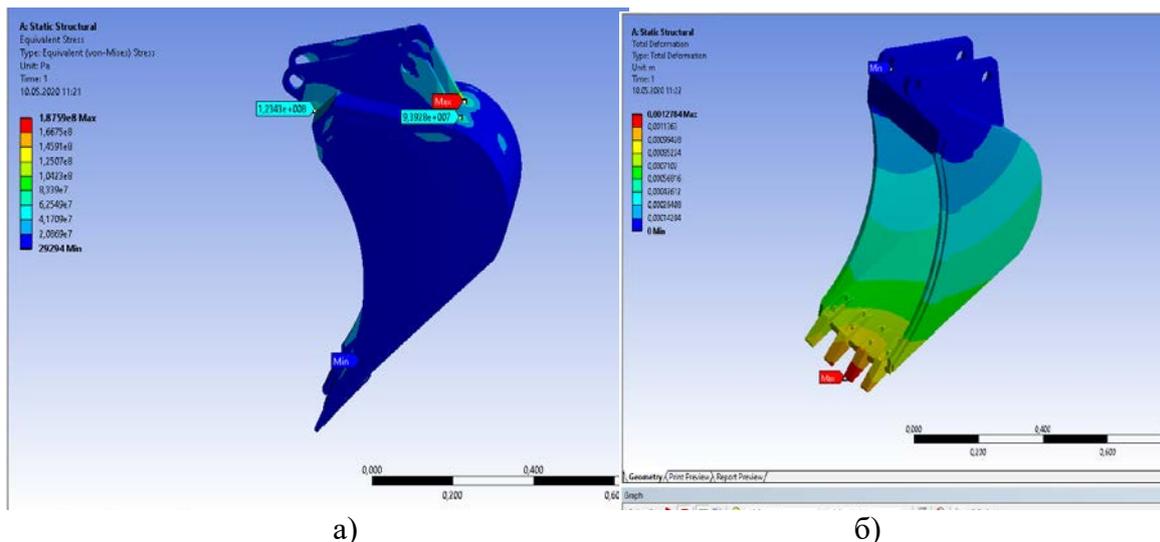
количество узлов - 82452, количество элементов - 37337 а),

определение внешних нагрузок и граничных условий для конструкции ковша – б).

На геометрическую модель ковша прикладывается внешняя нагрузка – силы сопротивления резанию однородного грунта, и сила сопротивления резанию грунта, содержащего сферическую обломочно-каменную частицу. Указанные силы прикладываются к режущим элементам ковша, а сила реакции гидроцилиндра ковша в шарнире крепления цилиндра к корпусу ковша (рис.5б.). Задание граничных условий производится в разделе *Environment/Supports* и его количество должно быть достаточным для определения всех полей деформаций и напряжения. Шарнир, с помощью которого ковш крепится к рукоятке моделируется цилиндрическим закреплением (*Cylindrical Supports*), с ограничением перемещений в осевом, радиальном и тангенциальном направлениях (рис.5б). В блоке *Resulst* проекта «Ковш экскаватора» анализируются результаты расчета: распределение эквивалентного напряжения по Мизесу (рис.6а), распределение полной деформации по конструкции ковша (рис.6б).

Анализ распределения приведенного напряжения по Мизесу показывает, что наиболее нагруженными участками являются зона крепления кронштейна к корпусу ковша, козырек ковша, а также зоны крепления зубьев к козырьку ковша. Особенно нагруженным локальным участком является соединение кронштейна к корпусу ковша с тыльной стороны и зона крепления ковша к рукоятке (рис.6а). Максимальное значение приведенного напряжения по Мизесу в наиболее нагруженном локальном участке равняется 187,59 МПа (см. рис.6а) и оно меньше значения предела текучести материала ковша - конструкционной стали ( $\sigma_m = 250$  МПа).

Анализ распределения деформаций (см.рис.6б) показывает, что к наибольшей деформации (0,128 мм) подвергаются участки крепления зубьев к козырьку ковша, особенно участки крепления зубьев, на которые действует каменная частица грунта при копании ковшем.



**Рис. 6.** Распределение полей эквивалентного напряжения по Мизесу – а) и полной деформации по конструкции ковша – б)

Для определения сопротивления усталости задаем историю нагружения конструкции ковша, полученной при резании грунта, содержащего сферическую каменную частицу стандартным и адаптируемым режущими элементами на стенде [7]. Линия приложения режущего элемента к обломочно-каменной частице составляет  $1,75R_k$ , т.е. грунт разрушается с внедрением последней в массив грунта. История изменения внешней нагрузки задается некоторым временным рядом  $T(t_a)$  и определяется по формуле [10,11]

$$P_p(t_a) = k_{sc} P_p T(t), \quad (4)$$

где  $k_{sc}$  - коэффициент соответствия между статическим и динамическим значениями силы резания грунта.

Значение силы резания грунта при разработке грунтов изменяется случайным образом в зависимости формы, размеров обломочных включений, в процессе эксплуатации рабочий орган испытывает случайное нагружение.

В ANSYS WORKBENCH случайное нагружение приводится к эквивалентному по повреждаемости блочному нагружению схематизацией процесса нагружения методом «падающего дождя». Компонентов тензора напряжений многоосного напряженного состояния в конструкции ковша необходимо привести к эквивалентным по повреждаемости амплитудным и средним значениям напряжения циклов нагружения одноосного напряженного состояния. В связи с тем, что усталостные характеристики материала конструкции получены для одноосного напряженного состояния при испытании регулярным нагружением. Такой переход осуществляется с помощью приведенного максимального главного напряжения, максимального касательного напряжения и удельной энергии формоизменения. Следует отметить, что среднее напряжение цикла существенно влияет на сопротивление усталости и для учета данного положения в ANSYS WORKBENCH реализована зависимость для приведенных эквивалентных по повреждаемости амплитудных и средних значений напряжений цикла с удельной энергии формоизменения со знаком. А также учет влияния среднего значения напряжения цикла на сопротивление усталости при переходе на симметричное нагружение осуществляется на основании зависимостей: Гудмана, Гербера и Зодерберга.

Влияние размеров, наличие концентраторов напряжений, состояние поверхности реальной конструкции на значение сопротивления усталости определяется по формуле [10]

$$\sigma_{-1k} = k_f \sigma_{-1} , \quad (5)$$

где  $k_f$  - коэффициент снижения предела выносливости,  
 $\sigma_{-1}$  - предел выносливости стандартного образца при одинаковой асимметрии цикла.

Коэффициент снижения предела выносливости определяется по согласно [3].  
 Сопротивление усталости оценивается коэффициентом запаса и долговечностью.

Коэффициент запаса  $n_{SF}$  определяется как отношение допускаемого значения параметра  $[D]$  к текущему значению параметра  $D$  [10]

$$n_{SF} = [D] / D , \quad (6)$$

Нерегулярное нагружение конструкции как было отмечено приводится к блочному нагружению, и в связи с этим долговечность конструкции при блочном нагружении определяется по формуле [10]

$$D = 1 / \varphi_B , \quad (7)$$

Мера повреждений, накопленная за время действия одного подобного блока  $\varphi_B$  равняется [10]

$$\varphi_B = \sum_{l=1}^g \frac{n_g}{N_g} , \quad (8)$$

где  $N_g$  – долговечность, выраженная в циклах нагружения, при уровне нагрузки соответствующей  $g$  -ой ступени блока,  
 $n_g$  – длительность цикла.

На рис.7 и рис.8 показаны поле сопротивления усталости локальных участков конструкции ковша при разработке грунта, содержащего обломочное включение со стандартными и адаптируемыми зубьями. В табл.2 приведены результаты расчетов сопротивления усталости материала элементов ковша экскаватора.

Таблица 2

Изменение сопротивление усталости локальных участков конструкции ковша

Конструкция зуба	Конструкция ковша			Относительное увеличение усталости, %
	зона крепления зубьев (козырек ковша)	зона крепления кронштейна к корпусу ковша		
		лицевая	тыльная	
Стандартный	2226	238,95	134,62-140,32	5,1...14,74%
Адаптируемый	2697	251,15	151,12-161	-

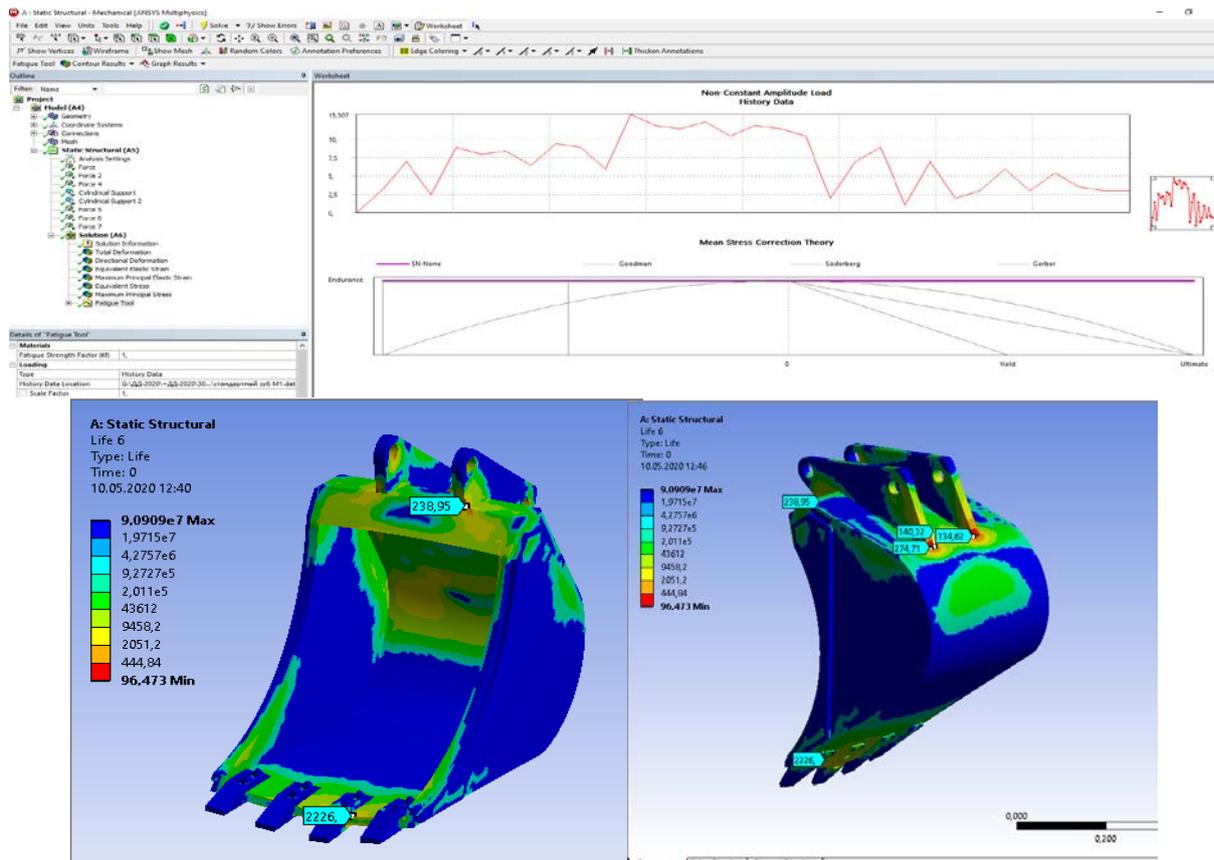


Рис. 7. Распределение полей сопротивления усталости по конструкции ковша со стандартными зубьями

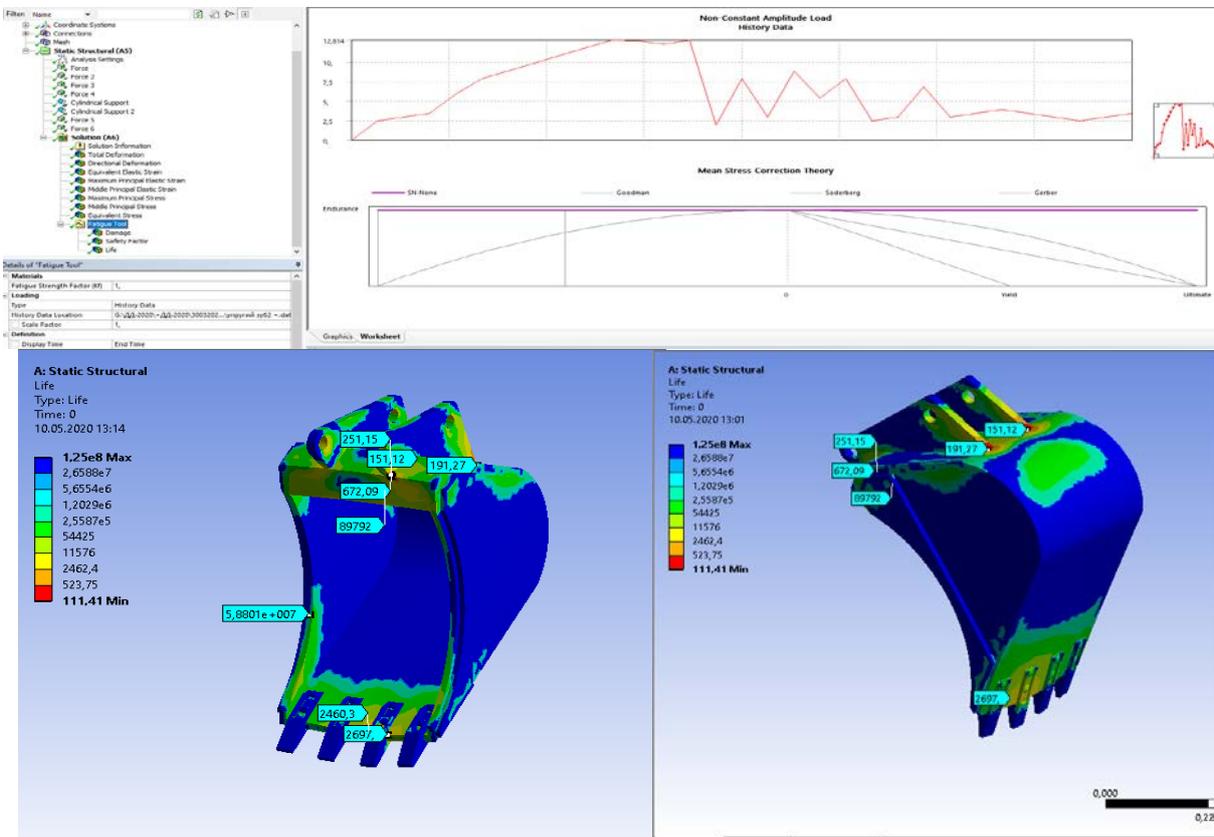


Рис. 8. Распределение полей сопротивления усталости по конструкции ковша с адаптируемыми зубьями

На рис. 9 показаны повреждения и разрушения локальных участков металлоконструкции ковша экскаватора в производственных условиях. Как известно, грунтовые условия эксплуатации землеройных машин в Кыргызской Республике характеризуются наличием каменных включений в грунте, которые сопровождаются появлением динамических нагрузок для металлоконструкций землеройных машин [1].



**Рис. 9.** Повреждения и разрушения, наблюдаемые в ковше в условиях эксплуатации: красные линии – зоны повреждения

Таким образом с использованием метода конечно-элементного анализа в системе ANSYS WORKBENCH можно оценить изменение сопротивление усталости материала элементов конструкции ковша экскаватора. В зависимости от глубины расположения каменных частиц в грунте могут быть 3 случая воздействия на них режущих элементов (зубьев) ковша. В отличие от стандартного рабочего органа, ковш, оснащенный адаптируемыми упругими зубьями, имеет преимущества при разработке каменных грунтов. Эти зубья могут обходить каменные включения и легко выкатывать их на дневную поверхность или вдавливать их в массив грунта на небольшую глубину, что способствует повышению сопротивление усталости локальных участков конструкции ковша экскаватора в пределах 5...15%. Следует отметить, что результаты конечно-элементного анализа и эксплуатационных условий дают качественно схожие картины.

#### Библиографический список

1. Тургунбаев М.С. Нагруженность и усталостная долговечность рабочего оборудования экскаваторов при разработке каменных грунтов с изношенными зубьями ковша. Дис. ...канд. техн. наук. Бишкек., 2002. 198 с
2. Ansys Workbench v.15.
3. ГОСТ 25.502-79. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. – М. : Изд-во стандартов, 1981. - 28 с.
4. ГОСТ 23.207-78. Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения. – М. : Изд-во стандартов, 1981. - 48 с.
5. Н.Н.Живейнов, Г.Н.Карасев, И.Ю.Цвей Строительная механика и металлоконструкции строительных и дорожных машин. Москва. «Машиностроение», 1988 г. – 280 с.
6. Альбом чертежей запасных частей. Экскаватор ЭО-2621. Главстроймашавтоматизация. Москва, «Союзстройдормашзапчасть», 1982 г. – 288 с.
7. Тургунбаев М.С., Шамуратов К.Т. Стенд для исследования процесса резания грунтов. Патент на полезную модель Кыргызской Республики №113 от 30.08.2010.

8. К вопросу особенности разрушения грунта, содержащего обломочно-каменные включения рабочим органом землеройной машины. Интернет-журнал “Науковедение”, том 9, №3 (2017), URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/98TVN317.pdf>

9. Тургунбаев М.С., Абдрахманов И.А., Темиралиев А.К. Ковш экскаватора с адаптируемыми зубьями. Патент на изобретение Кыргызской Республики №1662 от 31.07.2014.

10. Берендеев Н.Н. Применение системы ANSYS к оценке усталостной долговечности. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Новые подходы в исследованиях и разработках информационно-телекоммуникационных систем и технологий». [Электронный ресурс] / Н.Н. Берендеев. – Электрон. текстовые дан. и граф. дан – Нижний Новгород: Б. изд., 2006. – 82 с. – Режим доступа: <http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2006/4.pdf>, свободный.

11. Mughrabi H. On “multy-stage” fatigue life diagrams and the relevant life-controlling mechanisms in ultrahigh-cycle fatigue // Fatigue Fracture Engineering Material Structure. – 2002. N 25. – p. 755 – 764.

#### References

1. Turgunbaev M.S. The loading and fatigue life of the working equipment of excavators in the development of rocky soils with worn bucket teeth. Dis. ... cand. tech. sciences. Bishkek., 2002.198 s.

2. Ansys Workbench v.15.

3. GOST 25.502-79. Methods of mechanical testing of metals. Fatigue Test Methods. - M. : Publishing house of standards, 1981. - 28 p.

4. GOST 23.207-78. Fatigue resistance. Basic terms, definitions and designations. - M.: Publishing house of standards, 1981. - 48 p.

5. N.N. Zhiveinov, G.N. Karasev, I.Yu. Tsvei Structural mechanics and metal structures of construction and road machines. Moscow. "Engineering", 1988 - 280 p.

6. Album drawings of spare parts. Excavator EO-2621. Glavstroy Mashavtomatizatsiya. Moscow, Soyuzstroydormashzapchast, 1982 - 288 p.

7. Turgunbaev MS, Shamuratov K.T. Stand for researching the process of cutting soil. Utility Model Patent of the Kyrgyz Republic No. 113 of 08/30/2010.

8. To the question of the features of the destruction of soil containing debris-stone inclusions by the working body of the digging machine. The online journal “Science of Science”, volume 9, No. 3 (2017), article URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/98TVN317.pdf>

9. Turgunbaev M.S., Abdrakhmanov I.A., Temiraliyev A.K. Excavator bucket with adaptable teeth. Patent for the invention of the Kyrgyz Republic No. 1662 dated 07/31/2014.

10. Berendeev N.N. Application of the ANSYS system to assess fatigue life. Educational material on the continuing education program “New Approaches in the Research and Development of Information and Telecommunication Systems and Technologies”. [Electronic resource] / N.N. Berendeev. - The electron. text data and count. Dan - Nizhny Novgorod: B. ed., 2006. - 82 p. - Access mode: <http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2006/4.pdf>, free.

11. Mughrabi H. On the “multy-stage” fatigue life diagrams and the relevant life-controlling mechanisms in ultrahigh-cycle fatigue // Fatigue Fracture Engineering Material Structure. - 2002. N 25. - p. 755 - 764.

УДК 69.0025:534.647(07)

*Воронежский государственный  
технический университет  
Д-р техн. наук, проф., Ю.Ф. Устинов;  
Старший преподаватель, А.В. Ульянов;  
Магистрант гр. мЭТМ-181, Р.С. Тихонов  
Россия, Воронеж, тел.: +7 (900) 962-69-74  
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 of gr. mETM-181,  
R.S. Tihonov  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (900) 962-69-74  
E-mail: [ustinov@vgasu.vrn.ru](mailto:ustinov@vgasu.vrn.ru)*

Ю.Ф. Устинов, А.В. Ульянов, Р.С. Тихонов

## **ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА 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, R.S. Tihonov

## **VIBROACOUSTIC DYNAMICS TRANSPORT TECHNOLOGY 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.

Производство машин, форсированных по мощности и нагрузкам, технологическим и транспортным скоростям движения неизбежно приводит к увеличению уровней вибрации и шума, которые неблагоприятно воздействуют на здоровье оператора и снижают прочность металлоконструкций, узлов и механизмов машины, приводят к акустическому загрязнению окружающей среды. В связи с этим при создании новых машин, а также в процессе их модернизации проблема снижения шума и вибрации остается актуальной и в отдельных случаях выдвигается на первый план.

Значительные успехи в борьбе с вибрацией и шумом достигнуты в авиастроении, судостроении и гражданском строительстве. В этих областях разработаны и успешно внедряются в практику научные основы защиты от шума и вибрации на стадии проектирования.

1. *Состояние проблемы.* В 1970-1980-х годах в нескольких странах мира были развернуты научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) по созданию перспективного поколения тягачей и их агрегатов с пониженными уровнями шума. В общем случае НИОКР преследовали две главные цели:

- изучение технической возможности существенного уменьшения шума транспорта путем поиска инженерных решений по снижению шума отдельных типов тягачей;

- определение влияния ограничения шума транспортных и тяговых машин на технико-экономические факторы, например, стоимость, расход топлива, эксплуатационную надежность, удобство обслуживания и др.

Долгосрочную НИОКР по проектированию, конструированию и испытанию новых типов автомобилей-тягачей, предназначенных для эксплуатации в XXI веке, раньше производили известные концерны: Германия (программа UBA), MANVW; Франция (программа ATP), «Рено V.I.», (программа VIRAGES); «Рено V.I.», (программа MITI); «Nissan», «Hino»; Великобритания (программа QHV); TRRL/Foden Rolls-Rouse; США (программа EPA), Bolt, Beranek and Newman. Испытывались тягачи мощностью 184-250 кВт. На опытных экземплярах достигнут уровень внешнего шума 79-80 дБА [1].

Аналогичные НИОКР проводились и во многих других компаниях и концернах при финансировании правительственными структурами. В итоге реализации проектов в перечисленных концернах были разработаны или находятся в стадии сборки различные колесные тягачи с пониженным уровнем шума. В общем случае в их число входят: научно-исследовательские прототипы, позволяющие осуществлять оценку исходных конструкторских концепций; производственные прототипы, которые определяются как технологически реализуемые решения с учетом их эксплуатационных характеристик. Вышеприведенные колесные тягачи могут быть использованы в качестве прототипов для проектирования и производства малошумных транспортных шин машин в XXI веке.

Применительно к базовым колесным тягачам и тракторам, оснащенным каким-либо рабочим оборудованием, программ и результатов исследований опубликовано значительно меньше. Это объясняется, на наш взгляд, тем, что рабочий цикл базовых тягачей и тракторов более сложный, так как включает транспортный и, в большей степени, тяговый режим работы. При этом влияние тягового режима на внешний шум, структурный шум и общий шум в кабине требует дальнейшего исследования.

Необходимо отметить, что при проведении НИОКР за рубежом и в России осуществлялись в основном мероприятия по снижению шума на уже существующих машинах или на опытных образцах, что требует больших материальных затрат и более сложных инженерных решений. В последние годы с появлением мощных вычислительных машин многие научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по снижению шума машин выполняются на основе численных исследований. Известная в мире компания по численным интегральным технологиям «Numerical Integration Technologies» (США) имеет большую библиотеку программных комплексов по исследованию виброакустических характеристик различных транспортных машин, самолетов и их агрегатов. Данных о возможностях этой компании по снижению структурного и общего шума в кабине тяговых машин и шума, излучаемого в окружающее пространство, в открытой печати не отмечено.

В ВГТУ проведен комплекс экспериментальных и теоретических исследований базовых колесных тягачей с различным рабочим оборудованием, используемых в разных отраслях промышленности и строительства [2-4]. В результате выявлены основные источники виброакустической энергии, пути ее распространения и влияние на звуковую вибрацию и шум в кабине. Определены некоторые нетрадиционные способы разделения источников шума и вибрации и способы их снижения, подтвержденные авторскими свидетельствами СССР и патентами России.

*2. Цель и задачи.* Цель – создание современных численных интегральных технологий исследования виброакустической динамики тяговых машин и прогнозирования вибрации и шума в кабине и окружающем пространстве.

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи: обоснование расчетного режима работы машин; разработка операционной системы на основе системного анализа; создание топологической модели виброакустического объекта; экспериментальное и теоретическое определение возмущающих воздействий; разработка алгоритма вычислений

виброакустических параметров машин на основе метода конечных элементов; создание пакета программ виброакустического проектирования машин на ЭВМ.

3. *Подходы к решению проблемы.* Классическая теория колебаний и акустики основана на решении дифференциальных уравнений, описывающих инерционно-жесткостные и волновые свойства отдельных элементов динамической системы с учетом взаимодействия их между собой. Поиск решений дифференциальных уравнений – процесс трудоемкий и в большинстве случаев нереализуемый из-за невозможности предугадать форму решений для сложных элементов исследуемой динамической системы, какой является машина – сложная пространственная конструкция, включающая оболочечные элементы. Классическая теория, хорошо описывающая простейшие динамические задачи применительно к сложным динамическим системам и оболочкам, не обеспечивает необходимой точности решений из-за отличия реальных граничных условий от их математической модели. На практике используются приближенные методы изучения быстропеременных процессов в динамических системах. Среди этих методов выделяются два, широко распространенных в решении виброакустических задач – статистический (энергетический) и модального анализа.

В последние годы для расчета виброакустических процессов сложных пространственных конструкций применяется метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод является не только популярным, но и самым мощным численным методом решения дифференциальных векторных уравнений, встречающихся в различных областях науки и техники. МКЭ лучше других методов обеспечен численными процедурами исследования математической модели динамической системы. Преимуществом МКЭ является также использование неявных, безусловно, устойчивых методов численного интегрирования систем дифференциальных уравнений.

4. *Методология разработки численной интегральной технологии.* Решение проблемы создания малошумных машин на стадии проектирования основано на трех концептуальных принципах методологии разработки численной интегральной технологии. Во-первых, в проведении глубокого системного анализа проблемы, в результате которого определяется логическая операционная многоуровневая и разветвленная система, представляющая комплекс операций количественного и качественного сравнения альтернатив, выполняемых с целью прогнозирования виброакустических параметров машины и выбора оптимального варианта виброакустической защиты оператора и окружающей среды [2, 4]. Во-вторых, в проведении лабораторно-полевых экспериментов на прототипах машин с целью выявления основных источников виброакустической энергии, проведении спектрального анализа и определения силовых и кинематических возмущающих воздействий полигармонического, импульсного, случайного и др. характеров, а также определении характерных тяговых режимов работы машины по специальной методике [5, 6]. В-третьих, в разработке топологии машины (дискретизации сплошных сред) на основе принятых конечных элементов стержневых, плоских или пространственных. В проведении численных исследований виброакустических процессов на основе метода конечных элементов.

Численные исследования виброакустической динамики машин согласно операционной системе решения проблемы заканчиваются в случае достижения цели, т.е. получении расчетным путем требуемых виброакустических характеристик в кабине и окружающем пространстве при заранее заданных физико-геометрических параметрах элементов конструкции машины.

5. *Результаты исследований.* Одновременное проведение тяговых и виброакустических испытаний машин позволили установить влияние силы тяги ( $T$ ) не только на тяговую мощность ( $N_T$ ), удельный ( $g_e$ ) и часовой ( $G_T$ ) расходы топлива, действительную ( $V_g$ ) и теоретическую ( $V_T$ ) скорости движения, коэффициент буксования  $\delta$ , но и на уровень звука ( $УЗ$ ) в кабине в области головы оператора с правой стороны.  $УЗ$  ( $L_p$ ) имеет наибольшее значение при силе тяги машины, соответствующей максимальной тяговой мощности ( $T_{Nmax}$ ).

Установлено, что для колесных машин

$$L_p \rightarrow \max \text{ при } T_{Nmax} = (0,70 \dots 0,73) \cdot G_{сц} \cdot \varphi,$$

где  $G_{сц}$ ,  $\varphi$  – соответственно, сцепной вес машины и коэффициент сцепления колеса с поверхностью движения.

Комплексные исследования виброакустической динамики машин позволили разработать численную интегральную технологию создания малошумных машин, в основу которой положены операционная система решения проблемы и метод конечных элементов. Установлены новые закономерности влияния физико-геометрических характеристик конструктивных элементов на виброакустические параметры машин и их отдельных составляющих. В частности, определены зависимости звукового давления в кабине и вклады структурного шума в общее звуковое поле машины от физико-геометрических характеристик упругих элементов в опорных связях двигателей, коробок передач и кабины, а также от формы кабины, толщины и физических параметров виброзвукопоглощающих покрытий и площади остекления во всем диапазоне нормируемых полос со среднегеометрическими частотами.

### Заключение

Общее развитие науки о быстропеременных процессах в сложных динамических системах, создание современных численных методов решения векторных уравнений и появление мощных ЭВМ позволили создать численные интегральные технологии на основе системного анализа проблемы и реализации ее методом конечных элементов. Выявлены новые закономерности влияния режима работы машин и их технических характеристик на уровни воздушного, структурного и общего шумов в кабине и окружающем пространстве. Данная технология с использованием векторной анимации относится к виду перспективных, так как позволяет на стадии проектирования прогнозировать виброакустические параметры машин с динамичным отображением распространения звуковых волн по конструкциям машины, в замкнутом объеме кабины и окружающем пространстве на экране монитора компьютера.

### Библиографический список

1. Шум на транспорте / Пер. с англ. К.Г. Бронштейна. Под ред. В.Е. Тольского и др. – М.: Транспорт, 1995. – с. 7-179.
2. Ustinov Yu. F. The influence of the drive line vibration on the noise in the cabin of earth-moving machines / Proceedings of the 12-th International FASE Symposium «Transport Noise and Vibration». St.-Petersburg, Russia, September 23-25, 1996.
3. Ustinov Yu. F. Numerical Investigations Methodology of Vibroacoustic Dynamics of Transport and Traction Machines / 6-th International Congress on Sound and Vibration. 5-8 July 1999, Copenhagen, Denmark. – P. 1405-1408.
4. Устинов, Ю.Ф. Концептуальные принципы создания виброшумобезопасных машин строительного комплекса / Ю.Ф. Устинов// Журн. Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – №9. – с.23 – 27.
5. Иванов, Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом [Электронный ресурс]: Учебник / Н. И. Иванов. – Москва: Логос, 2008. - 422 с. - ISBN 978-5-98704-659-3.
6. Жеглов, Л.Ф. Виброакустика колесных машин [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л.Ф. Жеглов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 171 с.: ил. – ISBN 978-5-7038-3710-8.

## References

1. Noise on the transport / TRANS. from English K.G. Bronstein. Ed. V.E. Tolsky and others. - M.: Transport, 1995. - p. 7-179.
2. Ustinov Yu. F. The influence of the drive line vibration on the noise in the cabin of earth-moving machines / Proceedings of the 12-th International FASE Symposium «Transport Noise and Vibration». St.-Petersburg, Russia, September 23-25, 1996.
3. Ustinov Yu. F. Numerical Investigations Methodology of Vibroacoustic Dynamics of Transport and Traction Machines / 6-th International Congress on Sound and Vibration. 5-8 July 1999, Copenhagen, Denmark. – P. 1405-1408.
4. Ustinov, Yu.F. Conceptual principles for the creation of vibro-noiseless machines of the building complex / Yu.F. Ustinov // Zh. Industrial and civil engineering. - 2010. - No. 9. - p. 23 - 27.
5. Ivanov, N.I. Engineering acoustics. Theory and practice of noise control [Electronic resource]: Textbook / N. I. Ivanov. - Moscow: Logos, 2008. - 422 p. - ISBN 978-5-98704-659-3.
6. Zheglov, L.F. Vibroacoustics of wheeled vehicles [Electronic resource]: textbook. allowance / L.F. Zheglov. - 2nd ed., Rev. and add. - M.: Publishing House of MSTU. N.E. Bauman, 2013. - 171 p.: Ill. - ISBN 978-5-7038-3710-8.

УДК 621

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

*Профессор кафедры «Производство и ре-  
монт автомобилей и дорожных машин»*

*Доктор технических наук, профессор*

*В.К. Фёдоров*

*Россия, г. Москва, тел. +7(916)546-05-70*

*e-mail: kaskadf@yandex.ru*

*Moscow automobile and road transport state  
University Technical University  
(MADI)*

*Professor of the Department " Production and  
repair of cars and road vehicles»*

*Doctor of technical Sciences, professor*

*V.K. Fedorov*

*Russia, Moscow, tel. +7(916)546-05-70*

*e-mail: kaskadf@yandex.ru*

В.К. Фёдоров

### **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН ПО СОСТОЯНИЮ**

В статье приведено обоснование предпочтительности проведения технического обслуживания и ремонта строительно-дорожных машин по состоянию на основе максимизации предельной вероятности нахождения машины в процессе эксплуатации на целевом этапе её использования по назначению.

**Ключевые слова:** строительно-дорожная машина, диагностика, техническое обслуживание, ремонт, эксплуатация, техническое состояние.

V.K. Fedorov

### **THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE PRIORITY OF MAINTENANCE AND REPAIR OF ROAD CONSTRUCTION MACHINES IN THE STATE OF**

The article provides a justification for the preference for maintenance and repair of road construction machines based on the maximization of the maximum probability of finding the machine in operation at the target stage of its intended use.

**Keywords:** road construction machine, diagnostics, maintenance, repair, operation, technical condition.

Строительное производство на современном этапе отличается высоким уровнем механизации и автоматизации. Поэтому рассматривая инновационное развитие строительства, невозможно обойтись без вопросов перспективного обеспечения надёжности строительно-дорожных машин в процессе их эксплуатации. Основным фактором обеспечения надёжности машин при эксплуатации, и, как следствие, эффективности их применения по назначению является проведение технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) по состоянию на основе средств и методов диагностики.

В соответствии с [1] совокупность машин, средств ТО и Р, исполнителей и задокументированные процессы их взаимодействия образуют систему ТО и Р.

В зависимости от сочетания, последовательности проведения и состава мероприятий по поддержанию работоспособного состояния машин различают профилактические и аварийно-восстановительные системы ТО и Р (рис.1) [2].

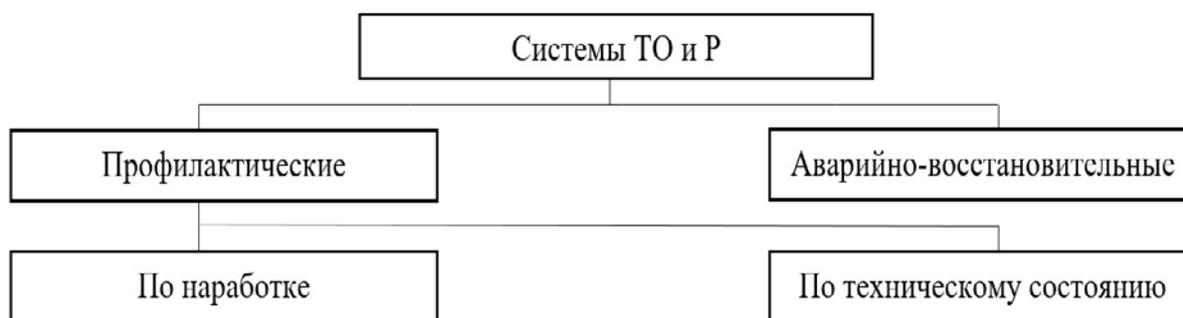


Рис. 1. Системы ТО и Р машин на современном этапе

Аварийно-восстановительные системы (до отказа) предусматривают проведение ремонта после отказа. Внедрение этой системы реализуется достаточно просто и не требует проведения сложных организационных мероприятий. Успешно применяется для невосстанавливаемых технических объектов.

Однако в этом случае нельзя предупредить отказ машины и тем самым исключить возникновения внезапной аварийной ситуации.

Профилактические системы предусматривают проведение ТО и Р в плановом порядке: по достижению определённой наработки или по техническому состоянию. В последнем случае контроль технического состояния выполняется в плановом порядке с заданной регламентной периодичностью, а объём и момент начала операций ТО и Р определяется техническим состоянием объекта.

Системы ТО и Р по состоянию получили начало своей реализации в 70-х годах прошлого века в авиации США и позднее были внедрены в другие отрасли машиностроения, показав безусловную свою перспективность. В рамках данной системы существенно снижаются затраты на ТО и Р за счёт отказа от ненужных в данный момент операций и экономии на материалах и запасных частях, не требующих замены; уменьшаются удельные расходы топлива и материалов за счёт своевременного выполнения регулировочных операций; снижаются риски возникновения аварий и катастроф из-за внезапных отказов техники.

В данной статье предложено теоретическое обоснование преимущественности проведения ТО и Р по состоянию, исходя из увеличения вероятности нахождения строительно-дорожных машин в использовании по целевому назначению.

В процессе эксплуатации машин, их узлы и агрегаты подвергаются постоянному воздействию широкого спектра факторов, по-разному влияющих на техническое состояние. Эти факторы делятся на группы: конструктивно-производственные, определяющие начальное качество машин, и эксплуатационные – определяющие изменение технического состояния машин в процессе эксплуатации. Эксплуатационные факторы, в свою очередь, могут быть объективными (условия работы машин, воздействие окружающей среды и т.п.) и субъективными (выбор режимов работы, квалификация машинистов и обслуживающего персонала и т.п.). Это приводит к тому, что количественные характеристики эксплуатационных факторов изменяются в широких пределах и носят случайный характер. Как следствие, при одной и той же наработке машины имеют различное фактическое состояние.

В соответствии с [3] различают исправное техническое состояние  $S_{и}$ , неисправное  $S_{ни}$ , работоспособное  $S_{р}$  и неработоспособное  $S_{нр}$ . Схема технических состояний и возможных переходов для строительно-дорожной машины в эти состояния приведена на рис.2.

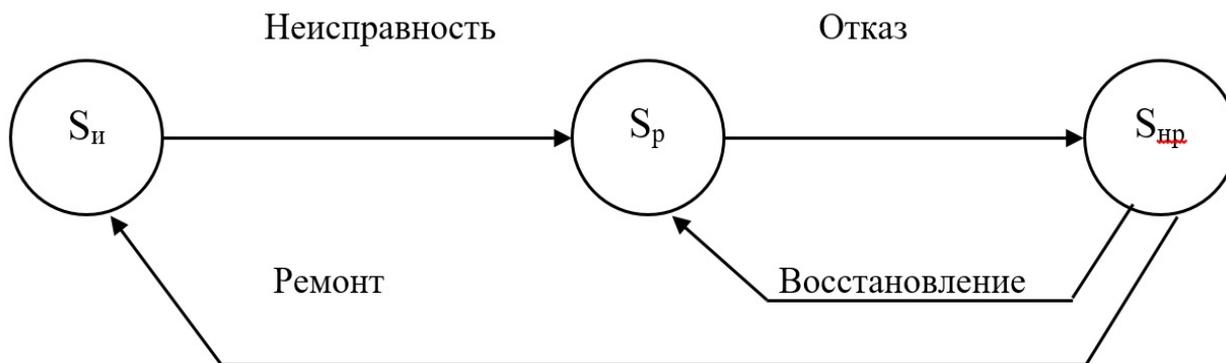


Рис. 2. Схема возможных технических состояний строительно-дорожной машины

Анализ определений технических состояний машины  $S$  позволяет разбить множество технических состояний на два подмножества  $S_{\text{И}}$  и  $S_{\text{нр}}$ ,  $S_{\text{р}}$  и  $S_{\text{нр}}$ . Между этими подмножествами существуют следующие соотношения:  $S_{\text{И}} \subset S_{\text{р}}$ ,  $S_{\text{нр}} \subset S_{\text{нн}}$ , то есть подмножества  $S_{\text{И}}$  и  $S_{\text{нр}}$  включены в подмножества  $S_{\text{р}}$  и  $S_{\text{нн}}$ .

Подмножества  $S_{\text{р}}$  и  $S_{\text{нн}}$  пересекаются (машина может быть работоспособна, но неисправна, например с незначительным подтеканием масла из редуктора):  $S_{\text{р}} \cap S_{\text{нн}}$  и у них есть общая часть, а подмножества  $S_{\text{р}}$  и  $S_{\text{нр}}$ ,  $S_{\text{И}}$  и  $S_{\text{нн}}$  – несовместимы – ортогональны. То есть, исправная машина всегда работоспособна, а неработоспособная машина всегда неисправна. Однако, неисправная машина может быть как работоспособна, так и неработоспособна. Тогда, с учётом цели данной статьи, множество технических состояний машины  $S$  удобно разбить на три непересекающихся подмножества  $S_{\text{И}}$  (машина исправна),  $S_{\text{нр}}$  (машина неисправна, но работоспособна),  $S_{\text{нр}}$  (машина неработоспособна).

Эксплуатация строительно-дорожных машин организуется в соответствии с [4] и представляет собой упорядоченную во времени последовательность типовых этапов  $A_n$  ( $n=1, \dots, N$ ), таких как использование по назначению ( $A_1$ ), транспортирование ( $A_2$ ), техническое обслуживание ( $A_3$ ), ремонт ( $A_4$ ), хранение ( $A_5$ ). Процесс эксплуатации, таким образом, можно рассматривать как стационарный эргодический процесс со средним временем  $x_n$  пребывания машины на этапе  $A_n$  до перехода на этап  $A_{n+1}$  и мгновенным (скачкообразным) переходом из одного этапа эксплуатации в другой. Это позволяет отнести процесс к марковским, для которого может быть определена предельная вероятность состояния.

Логично предположить, что если в процессе эксплуатации машины имеет место этап её использования по назначению, то в качестве целевой функции, определяющей преимущественную систему ТО и Р, возможно принять предельную вероятность нахождения машины на этом этапе  $F_j$ .

$$F_j = \frac{p_j x_j}{\sum_{i=1}^N p_n x_n} \longrightarrow \max \quad (1)$$

где  $p_j$ ,  $x_j$  – стационарная вероятность и среднее время пребывания машины на целевом этапе использования по назначению  $A_j$ ;

$p_n$ ,  $x_n$  – стационарная вероятность и среднее время пребывания машины на  $n$ -м этапе эксплуатации  $A_n$ ;

$N$  – количество этапов эксплуатации.

Действительно, чем выше вероятность нахождения строительно-дорожной машины на этапе использования по назначению (для этого она производилась), тем эффективней ТО и Р.

Идея обоснования преимущественности системы ТО и Р изложена в [5] и заключается в следующем. Некоторый процесс эксплуатации, при котором не учитывается техническое состояние машины, принимается за исходный. Качество исходного процесса оценивается значением целевой функции  $F_j$ . Затем определяется значение целевой функции для процесса

эксплуатации, при котором учитывается техническое состояние машины. Если окажется, что значение целевой функции для такого процесса выше, то вторая стратегия предпочтительней. На этой стадии делается допущение о том, что определение технического состояния машины не требует дополнительных затрат.

Значение целевой функции при эксплуатации не учитывающей техническое состояние машины определяется по формуле (1). Представим целевую функцию в следующем виде

$$F_j = \frac{p_j x_j}{p_j x_j + \sum_{k \neq j}^{N-1} p_k x_k}, \quad (2)$$

где  $p_k$ ,  $x_k$  – стационарная вероятность и среднее время машины в  $k$ -м нецелевом этапе эксплуатации  $A_k$ ,  $k \neq j$ .

При эксплуатации, учитывающей техническое состояние машины, этапы эксплуатации назначаются в соответствии с техническим состоянием, то есть этап эксплуатации определяется состоянием объекта. В свою очередь и состояния объекта возникают в зависимости от условий выбранного этапа эксплуатации. Учитывая, что ранее в статье было выделено три непересекающихся подмножества технических состояний машины ( $S_{и}$ ,  $S_{нпр}$ ,  $S_{пр}$ ), можно сказать, что среднее время  $x_k$  нахождения машины на  $k$ -м этапе эксплуатации является в данном случае средним временем существования непересекающихся подмножеств технических состояний машины  $x_{ik}$ , наблюдаемых с вероятностью  $p_{ik}$ .

Следовательно, для эксплуатации, учитывающей техническое состояние машины, в формуле (2) можно заменить значение  $x_k$  значением  $\sum_{i=1}^3 p_{ik} x_{ik} \leq x_k$ .

Максимальное значение  $\sum_{i=1}^3 p_{ik} x_{ik} = x_k$  будет наблюдаться для случая, в котором на протяжении всего этапа эксплуатации  $A_k$  машина будет находиться в одном из трёх технических состояний  $S$  ( $S_{и} \vee S_{нпр} \vee S_{пр}$ ) с вероятностью 1.

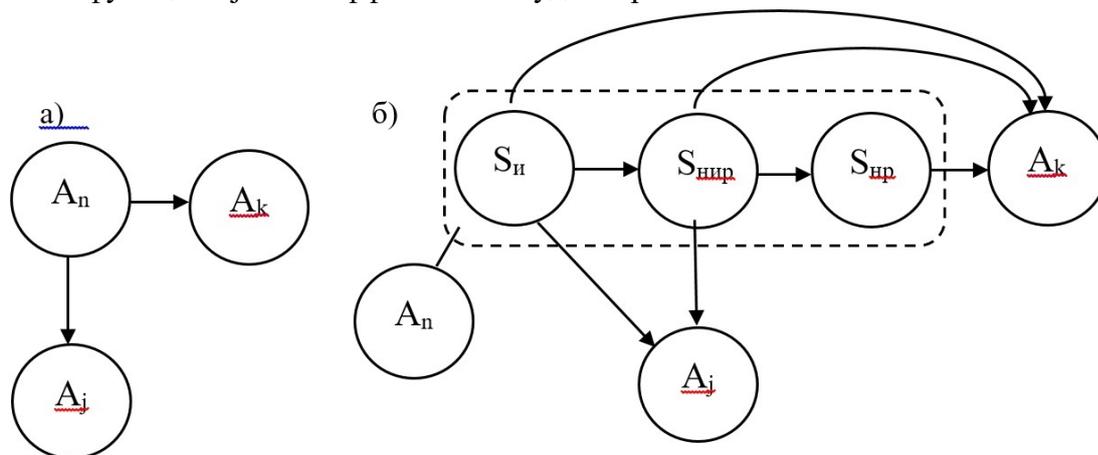
Значение целевой функции для второго случая будет иметь вид

$$F_j^{(2)} = \frac{p_j x_j}{p_j x_j + \sum_{k \neq j}^{N-1} p_k \sum_{i=1}^3 p_{ik} x_{ik}} \geq F_j^{(1)}, \quad (3)$$

Далее аналогично можно показать, что значение целевой функции для процесса эксплуатации, когда учитываются не технические состояния машины в целом, а её элементов (агрегатов, систем, узлов), будет выше, т.е.  $F_j^{(3)} \geq F_j^{(2)} \geq F_j^{(1)}$ .

Графическое представление обоснования преимущественности проведения ТО и Р по состоянию представлено на рис.2.

Чем глубже оценивается техническое состояние машины, тем больше будет значение целевой функции  $F_j$  и тем эффективней будет стратегия.



**Рис. 3.** Графическое представление обоснования преимущественности концепции ТО и Р по состоянию:

а – концепция без учёта состояния; б – концепция с учётом состояния машины в целом;

$A_j$  – целевой этап эксплуатации (использование по назначению);  $A_n$  –  $n$ -й этап эксплуатации;

$A_k$  –  $k$ -й нецелевой этап эксплуатации;  $S_{и}$ ;  $S_{нпр}$ ;  $S_{пр}$  – технические состояния машины на  $n$ -м этапе эксплуатации

Однако, в реальных условиях проведение ТО и Р по состоянию потребует дополнительных затрат на определение технического состояния машин и невозможно без широкого использования средств и методов технической диагностики [6]. Поэтому глубина контроля технического состояния должна сопоставляться с общими затратами на диагностирование, ТО и Р и с оценкой общей эффективности их применения.

### Выводы

Проведение ТО и Р строительно-дорожных машин по состоянию обеспечивает максимальное значение предельной вероятности нахождения машины на этапе её целевого использования по назначению. При этом применение данной стратегии должно ограничиваться условием превышения эффекта от её внедрения над суммарными затратами на оценку технического состояния, ТО и Р.

### Библиографический список

1. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
2. Зорин В.А. Надёжность механических систем. – М.: ЦИФРА-М, 2015-380-с.
3. ГОСТ 27.002-2015 Надёжность в технике (ССНТ). Термины и определения.
4. ГОСТ 25646-95 Эксплуатация строительных машин. Общие требования.
5. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1987-232с.
6. Zorin V. A.1 , Baurova N.I.2 , Pegachkov A. A. Assessment of products risks of mechanical engineering by results of diagnosing Periodicals of Engineering and Natural Sciences ISSN 2303-4521 Vol. 7, No. 1, June 2019, pp.287-293 Available online at: <http://pen.ius.edu.ba> 287

### References

1. GOST 18322-2016. The system of technical maintenance and repair of equipment. Terms and definitions.
2. Zorin V. A. Reliability of mechanical systems. - Moscow: TSIFRA-M, 2015-380-p.
3. GOST 27.002-2015 Reliability in engineering (SSNT). Terms and definitions.
4. GOST 25646-95 Operation of construction machines . General requirements.
5. Smirnov N. N., Itskovich A. A. Maintenance and repair of aviation equipment as of. - M.: Transport, 1987-232s.
6. Zorin V. A.1 , Baurova N.I.2 , Pegachkov A. A. Assessment of products risks of mechanical engineering by results of diagnosing Periodicals of Engineering and Natural Sciences ISSN 2303-4521 Vol. 7, No. 1, June 2019, pp.287-293 Available online at: <http://pen.ius.edu.ba> 287

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

УДК 624.21.095

*Воронежский государственный  
технический университет  
Кандидат технических наук, доцент кафедр  
ы проектирования автомобильных дорог и  
мостов О.А. Волокитина  
Кандидат технических наук, доцент ка-  
федры проектирования автомобильных до-  
рог и мостов А.В. Еремин  
Кандидат технических наук, доцент ка-  
федры проектирования автомобильных до-  
рог и мостов В.П. Волокитин  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)2-71-52-02;  
e-mail: [nova.vp@mail.ru](mailto:nova.vp@mail.ru)*

*Voronezh State  
Technical University  
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of  
Postgraduate at the Department of Road  
and Bridge O.A. Volokitina  
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of  
Postgraduate at the Department of Road  
and Bridge A.V. Eremin  
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of  
Postgraduate at the Department of Road  
and Bridge V.P. Volokitin  
Russia, Voronezh, tel. +7(473)2-71-52-02  
e-mail: [nova.vp@mail.ru](mailto:nova.vp@mail.ru)*

О.А. Волокитина, А.В. Еремин, В.П. Волокитин

## **УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ПОКРЫТИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ ЗА СЧЕТ УЧЕТА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИХ РАБОТУ**

Рассматриваются факторы, влияющие на работу конструкции ездового полотна железобетонных мостов с целью увеличения срока службы и повышения безопасности движения. Представлены различия в работе нежестких дорожных одежд автомобильных дорог и покрытий железобетонных мостов.

**Ключевые слова:** железобетонные мосты, ездовое полотно, деформация, прочность, слой, покрытие, асфальт.

## **INCREASE IN THE SERVICE LIFE OF COVERINGS OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES ACCOUNTING OF FACTORS INFLUENCING THEIR WORK**

The factors affecting the design of the driving structure of reinforced concrete bridges in order to increase the service life and improve traffic safety are considered. The differences in the operation of non-rigid road clothes of roads and coatings of reinforced concrete bridges are presented.

**Keywords:** ferro-concrete bridges, a rideable cloth, deformation, durability, a layer; a covering, asphalt.

Мостовые сооружения на автомобильных дорогах являются важной составной частью дорожной сети. На автодорожных мостах безопасность, скоростной режим и комфорт движения в основном зависят от состояния проезжей части и деформационных швов.

В настоящее время наибольшее количество дефектов, влияющих на снижение транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений, наблюдается в связи с неудов-

летворительным состоянием проезжей части. Основными дефектами, возникающими на покрытиях, являются:

- волны и колеиность;
- одиночные трещины или сетка трещин в покрытии с различным раскрытием;
- разрушение покрытия по деформационным швам и в зоне контакта с элементами деформационного шва;
- наплывы асфальтобетона;
- выбоины на поверхности покрытия различных размеров.

Все перечисленные деформации возникают на покрытии автодорожных мостов со значительной интенсивностью, спустя 5 лет эксплуатации. Результатом возникновения данного вида дефектов является снижение удобства и скорости движения по сооружению, а в отдельных, исключительных случаях и снижение безопасности движения. Для восстановления условий движения эксплуатирующие организации в ряде случаев производят снятие повреждённого покрытия и укладку нового, или что встречается более часто, просто укладку нового покрытия поверх старого. Ни одно из этих мероприятий не приводит к решению проблемы, и она возникает снова после пятилетней эксплуатации.

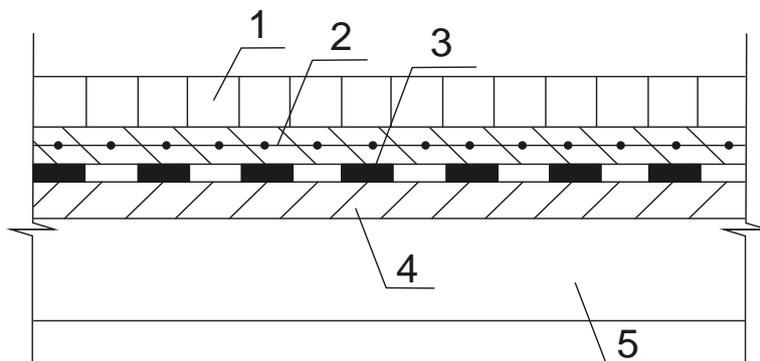
Проезжая часть пролетных строений представляет собой совокупность конструктивных элементов, воспринимающих действие подвижных нагрузок и передающих их на несущую часть пролетного строения.

Основными функциями проезжей части, и в частности, ездового полотна являются:

- восприятие внешних нагрузок от автотранспорта, распределение и передача их на несущую конструкцию мостового сооружения;
- защита нижележащих конструкций от механического воздействия, выступая при этом в качестве слоя износа;
- защита нижележащих, несущих конструкций от прямых атмосферных воздействий;
- обеспечение комфорта и безопасности движения за счёт ровности и шероховатости покрытия.

На железобетонных мостах традиционно применяется следующая конструкция ездового полотна (рис.1):

- выравнивающий слой,
- гидроизоляция,
- защитный слой изоляции,
- покрытие.



**Рис. 1.** Одежда ездового полотна:

- 1 - асфальтобетон; 2 - защитный слой; 3 - гидроизоляция;  
4 - выравнивающий слой; 5 - плита проезжей части

Согласно СП 35.13330.2011[1] асфальтобетонное покрытие на проезжей части выполняют двухслойным: на пролетных строениях с железобетонной плитой проезжей части мини-

мальной толщиной 90 мм при укладке его на защитный бетонный слой и 110 мм при укладке непосредственно на гидроизоляцию. При применении литых асфальтобетонов суммарная толщина асфальтобетонного покрытия может быть уменьшена до 80 мм при применении литого асфальтобетона в обоих слоях и до 90 мм при применении литого асфальтобетона в одном из слоев. Для покрытия из уплотняемого асфальтобетона применяют горячие асфальтобетонные смеси высокоплотные I марки или типа БI марки (II марки на мостовых сооружениях дорог ниже III категории) по ГОСТ 9128 [2] — в обоих слоях либо только в нижнем слое покрытия при применении для верхнего слоя щебеночно-мастичной смеси по ГОСТ 31015 [3].

Необходимо отметить, что на покрытиях мостовых сооружений в основном применяются те же материалы, что и на автомобильных дорогах, но при этом не учитывается различная специфика их работы [4,5,6]. Однако данные типы асфальтобетонов не обладают достаточной сдвигоустойчивостью при высоких положительных температурах и характеризуются сравнительно низкой водо- и морозостойкостью, поэтому они и имеют ограниченный срок службы.

Покрытие во время эксплуатации подвергается воздействию многочисленных факторов, вследствие чего появляются различного вида дефекты ездового полотна нарушающие работу главных балок пролетных строений железобетонных мостов (за счет увеличения динамических коэффициентов), и снижающие безопасность движения автотранспорта (рис. 2).



**Рис. 2.** Деформации и дефекты ездового полотна железобетонных мостов

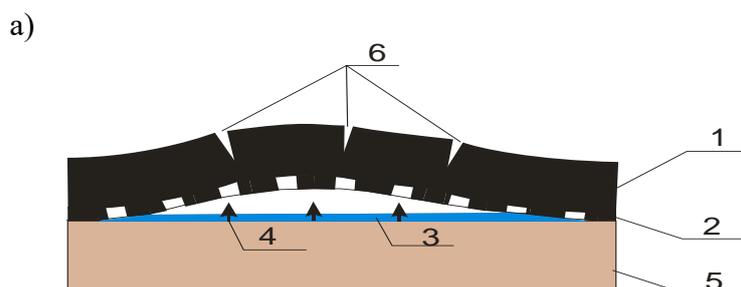
В зависимости от времени года в различных дорожно-климатических зонах наблюдаются значительные температурные колебания, оказывающие существенное влияние на материал покрытия, а в частности на его битумную составляющую [6,7]. Диапазон рабочих температур битума отличается от температурных перепадов климатических зон, поэтому битум часто становится слишком мягким в жаркое время года и хрупким в холодное. Недостаточное содержание щебня в смеси приводит в результате к отсутствию в уплотненной смеси жесткого каменного скелета. Крупные частицы щебня как бы «плавают» в битумопесчаной смеси и неспособны нести нагрузку.

В результате потери пластичности вяжущего при низких температурах происходит образование трещин. Битум становится хрупким, что ведет к разрыву связей между частицами

щебня. И в конечном итоге за счет старения и контакта кислорода с битумом, последний окисляется и теряет свои первоначальные свойства пластичности.

В результате климатических воздействий вода, проникающая внутрь дорожной одежды и находящаяся в запертом состоянии, разрывает битумные связи между частицами щебня. Микротрещина превращается в трещину, которая позднее превращается в яму. Проникающая через трещины покрытия вода ухудшает адгезию асфальтобетона с защитным слоем, а также между плитой проезжей части и гидроизоляцией, что усугубляет развитие деформаций и, в конце концов, проявляется на поверхности дорожного покрытия.

Для покрытий автомобильных дорог нежесткого типа усталостное напряжение возникает в нижней части слоя и трещина «прорастает» снизу вверх, в слое асфальтобетона, уложенном на плиту проезжей части, растягивающие напряжения возникают в верхней его части и тогда трещины идут сверху вниз (рис. 3).



б)



**Рис.3.** Разрушение асфальтобетонного покрытия под давлением воды:  
а - схема образования дефекта; б - вид трещин («паук») на асфальтобетонном покрытии моста;  
1 - слой асфальтобетона; 2 - гидроизоляция моста; 3 - вода;  
4 – давление воды; 5 - плита моста; 6 – место образования трещин

Причиной такого поведения покрытия является недостаточный водоотвод. Вода в данном случае проникает между слоями покрытия или между асфальтобетонным слоем и слоем

гидроизоляции в местах локального ослабления сцепления слоев, нарушая целостность единой системы гидроизоляции – дорожного покрытия – плиты моста.

Осмотические явления в покрытии, особенно при проходе движущихся транспортных средств, увеличивают расслоение системы и накопление в образовавшихся полостях воды, которая длительное время остается внутри покрытия между слоями. При этом на поверхности верхнего слоя покрытия образуются трещины (куриное яйцо), развивающиеся сверху вниз.

При обследовании мостовых сооружений, проведенном кафедрой проектирования автомобильных дорог и мостов ВГТУ, было установлено, что начало появления различного рода дефектов происходит в зоне деформационных швов. Так для пролетных строений с непрерывной проезжей частью, первоначально над деформационными швами появляются отдельные поперечные трещины, которые впоследствии развиваются в сетку параллельных трещин с дальнейшим образованием выбоин (рис.4).

Для деформационных швов с бетонным окаймлением дефекты в виде трещин, волн и наплывов образуются в зоне контакта асфальтобетона и бетона деформационного шва, вследствие их различной жесткости.

Следует также отметить, что совокупное воздействие транспортного потока на пролетное строение и ездовое полотно моста иное, чем на покрытие автомобильных дорог. Неодинаковая скорость движения автомобилей на разных полосах проезжей части моста создает трудности для учета напряженного состояния, возникающего в асфальтобетонных слоях покрытия.



**Рис.4.** Разрушение асфальтобетонного покрытия в зоне деформационных швов

Повторяющиеся воздействия движущихся транспортных средств вызывают усталостное напряжение в слое асфальтобетона и определяются усталостной долговечностью материала. Для асфальтобетона, уложенного на жесткое основание в виде защитного слоя бетона, усталостная долговечность имеет особое значение. При этом следует учитывать, что кроме непосредственного воздействия автотранспорта, на покрытие оказывает влияние деформации несущих конструкций, включающие и собственные динамические колебания.

Также при проектировании дорожного покрытия на мостах необходимо принимать во внимание тип применяемой гидроизоляции и его совместимость с материалом покрытия, затем нагрузку от движения, а также количество и вид стыков и швов моста («расчлененность»

мостового настила). Кроме того, должен предусматриваться более строгий, чем на дорогах режим содержания и эксплуатации покрытия.

Для устранения возникающих дефектов, как правило, производится укладка дополнительных слоёв, вызывающая увеличение постоянной нагрузки на несущие конструктивные элементы, в результате чего уменьшается грузоподъемность мостовых сооружений.

Повышение эксплуатационных свойств ездового полотна с учетом специфики работы покрытия на плите проезжей части железобетонных мостов, путем увеличения срока службы асфальтобетонных покрытий, диктует применение дорожной конструкции и материала со свойствами, отличающимися от требуемых для условий дорожного строительства [4,5].

Итоговыми основополагающими критериями для разработки методов проектирования и расчёта покрытий автодорожных мостовых сооружений [8,9] должны являться:

- обоснование требований сдвигоустойчивости асфальтобетонных слоёв, находящихся в условиях расположения на основании, имеющем прочностные параметры, превышающие параметры покрытия (не учитываются в стандартных методиках расчёта дорожных одежд применительно к автомобильным дорогам);
- учёт влияния погодно-климатических факторов в совокупности с совместной работой конструктивных слоёв, отличающихся по своим физико-механическим характеристикам;
- обеспечение совместной работы асфальтобетонных покрытий с различными видами деформационных швов мостовых сооружений при различных способах их сопряжений: по кромке шва или при перекрытии деформационного шва покрытием;
- повышение трещиностойкости покрытий автодорожных мостов за счёт разработки составов асфальтобетонов с учётом конструктивных и эксплуатационных особенностей работы.

#### Библиографический список

1. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\* (с Изменением N 1) – Москва: Минрегион России, 2010 – 341с.
2. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон – Москва: Стандартинформ, 2014 – 55с.
3. ГОСТ 31015 Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия – Москва: Госстрой России, 2003 – 22с.
4. ПНСТ184-2019 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические условия – Москва: Стандартинформ, 2019 – 28с.
5. ПНСТ183-2019 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия – Москва: Стандартинформ, 2019 – 20с.
6. ПНСТ 265-2018 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд – Москва: Стандартинформ, 2018 – 78с.
7. ГОСТ 33133-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования– Москва: Стандартинформ, 2015 – 12с.
8. В.П. Волокитин, О.А. Волокитина, А.В. Еремин Теоретическое обоснование метода определения деформационно-прочностных характеристик асфальтобетонных покрытий на мостовых сооружениях / В.П. Волокитин, О.А. Волокитина, А.В. Еремин // ДОРОГИ И МОСТЫ - 2017 - №1 (37) С.14, 205-212
9. О.А. Волокитина Особенности проектирования и расчета нежестких дорожных одежд на основе реальных расчетных характеристик конструктивных слоев / О.А. Волокитина // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2010. № 4 (20). С. 100-105.

## References

1. SP 35.13330.2011 Bridges and pipes. Updated version of SNiP 2.05.03-84\* (with Change N 1) - Moscow: Ministry of regional development of Russia, 2010-341p.
2. GOST 9128-2013. Mixes of asphalt concrete road, airfield and asphalt-Moscow: standardinform, 2014-55p.
3. GOST 31015 Mixes of asphalt concrete and asphalt concrete crushed-mastic. Technical conditions-Moscow: Gosstroy of Russia, 2003-22p.
4. PNST184-2019 public roads. Asphalt concrete road mixes and asphalt concrete. Specifications-Moscow: standardinform, 2019-28p.
5. PNST183-2019 public roads. Mixes of asphalt concrete road and asphalt concrete crushed-mastic. Technical conditions-Moscow: standardinform, 2019-20p.
6. PNST 265-2018 public roads. Design of non-rigid road clothing-Moscow: standardinform, 2018-78p.
7. GOST 33133-2014 public roads. Road oil bitumens are viscous. Technical requirements-Moscow: standardinform, 2015-12p.
8. V. P. Volokitin, O. A. Volokitina, A.V. Eremin Theoretical justification of the method for determining the deformation and strength characteristics of asphalt concrete coatings on bridge structures / V. P. Volokitin, O. A. Volokitina, A.V. Eremin // ROADS AND BRIDGES-2017 - №1 (37) P. 14, 205-212pp
9. O. A. Volokitina Features of design and calculation of non-rigid road coverings based on real design characteristics of structural layers / O. A. Volokitina // Scientific Bulletin of the Voronezh state University of architecture and construction. Construction and architecture. 2010. No. 4 (20). Pp. 100-105.

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ**

УДК 661.856

*Ярославский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доцент кафедры охрана  
труда и природы Е.Л.Никитина  
Россия, г. Ярославль, тел. +7(910) 97-55-345  
e-mail: [nikitinael@ystu.ru](mailto:nikitinael@ystu.ru)  
Ярославский государственный  
технический университет  
Студент М.Н. Раздувалова  
Россия, г. Ярославль, тел. +7(910) 97-55-345  
e-mail: [mariannarazduvalova@gmail.com](mailto:mariannarazduvalova@gmail.com)*

*Yaroslavl State Technical University  
D.Sc.( Engineerin), Associate Professor of the  
Department of Labor and Nature Protection  
E.L. Nikitina  
Russia, Yaroslavl, tel. +7 (962) 20-95-656  
e-mail: [nikitinael@ystu.ru](mailto:nikitinael@ystu.ru)  
Yaroslavl State  
Technical University  
tudent M. N. Razduvalova  
Russia, Yaroslavl, tel. +7 (962) 20-95-656  
e-mail: [mariannarazduvalova@gmail.com](mailto:mariannarazduvalova@gmail.com)*

Е.Л. Никитина, М.Н. Раздувалова

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД**

Актуальной задачей настоящего времени является разработка и реализация современных технологий, позволяющих обеспечить высокую эффективность процессов очистки от ионов тяжелых металлов, а также возможность создания на их основе комплексных технологий с замкнутым циклом водопотребления.

**Ключевые слова:** электролиз, электромагнитный аппарат, цементная медь, реагентная очистка.

E.L. Nikitina, M.N. Razduvalova

## **RESEARCH OF COPPER CONTAINING WASTE WATER TREATMENT TECHNOLOGIES**

An important task of the present time is the development and implementation of modern technologies to ensure high efficiency of cleaning processes from heavy metal ions, as well as the possibility of creating integrated technologies with a closed water consumption cycle on their basis

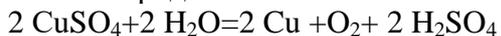
**Keywords:** electrolysis, electromagnetic apparatus, cement copper, reagent cleaning.

Важной экологической проблемой является загрязнение поверхностных вод ионами тяжелых металлов, токсическое воздействие которых на живые организмы приводит к нарушению протекания ферментативных реакций. Сточные воды электрохимических производств, имеющиеся на машино- и приборостроительных предприятиях являются основным источником поступления тяжелых металлов в водоёмы. Наибольший интерес вызывает очистка сточных вод от катионов меди (II). Это связано не только с высокой токсичностью данного элемента, но и с тем, что во многих областях Российской Федерации установлены жесткие нормативы по составу сточных вод, отводимых в централизованную систему водоотведения. Для сравнения ПДК ионов меди в воде, сбрасываемой в городскую канализацию, в

Европейском Союзе составляет 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Кроме того, за превышение допустимых концентраций тяжелых металлов в сточных водах для предприятий предусмотрены большие экологические платежи.

Практически повсеместно применяемый сегодня реагентный метод очистки не обеспечивает достижения допустимых концентраций, поэтому фактически все предприятия, имеющие электрохимические производства, являются нарушителями природоохранного законодательства. Всё это обуславливает необходимость разработки и реализации современных технологий, позволяющих обеспечить высокую эффективность процессов очистки от ионов тяжелых металлов, а также возможность создания на их основе комплексных технологий с замкнутым циклом водопотребления [1,2].

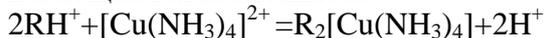
В ряде предприятий, занимающихся производством продукции термоэлектрических охлаждающих и генераторных модулей, феррожидкостных уплотнителей отсутствует технология очистки отработанных растворов, содержащих значительные количества тяжелых металлов. Практическое применение имеет возможность очистки отработанных растворов на предприятии и повторное использование очищенных вод в промышленном производстве. Исследовались сульфатные сточные воды, образующиеся на предприятии электронного приборостроения, содержащие катионы меди 70-80 г/дм<sup>3</sup>. Процесс электролиза проводили из отработанного раствора сульфата меди с pH=2. Для электрохимического восстановления при температуре 30-40<sup>0</sup>С и напряжении на электродах 2,5-3В использовали угольный и стальной электроды.



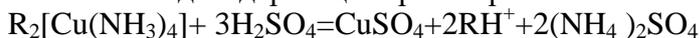
Катодная плотность тока составляла 550-700 А/м<sup>2</sup>. Затраты электроэнергии составили 2,6кВтч на 1кг готовой продукции. Применение данного способа позволяет получать дисперсную медь с содержанием фракций 0,07мкм не менее 95%.

С целью интенсификации процесса очистки, отработанные сульфатные сточные воды обрабатывали в электромагнитном аппарате в присутствии железной стружки, в стехиометрическом соотношении Cu:Fe=1:1 [3]. Исходная концентрация катионов меди и железа составила 70 г/дм<sup>3</sup> и 0,32 г/дм<sup>3</sup> соответственно. Под действием удара и трения происходит измельчение стружки до коллоидного состояния. В электромагнитном аппарате с частотой 50 Гц, индукцией переменного магнитного поля 0,3 Тл, напряженностью магнитного поля 450 А/см, использовалась энергия переменного магнитного поля, создаваемого магнитными элементами из магнитотвердого материала, движущимися под воздействием этого поля. Цементная медь переходит в осадок, удаляемый из реактора последующим фильтрованием и промывкой водой. После отделения меди и промывки осадка, отработанный раствор осаждали щелочью и фильтровали. Содержание катионов меди и железа в фильтрате составило соответственно 7,4 и 0,95г/дм<sup>3</sup>. Для последующей очистки фильтрованного раствора проведена селективная реакция для разделения катионов железа и меди. Известно [4], что сульфосалициловая кислота образует в щелочной среде (pH=8-12) комплексные ионы противоположного знака трисульфосалицилата железа  $[\text{Fe}(\text{HSO}_3\text{C}_6\text{H}_3\text{OCOO})_3]^{3-}$  и катионы аммиаката меди  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ . Для проведения эксперимента выбрано оптимальное соотношение сульфосалициловой кислоты и аммиачного раствора 3:2.

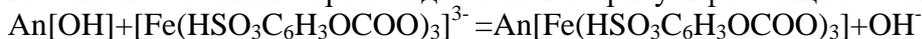
При пропускании через колонку с катионитом смеси катионов комплексные катионы меди поглощаются катионитом.



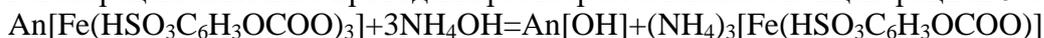
Регенерацию катионита проводили раствором серной кислоты с целью дальнейшего использования медьсодержащего раствора.



На анионообменнике происходит очистка трисульфосалицилата железа:



Регенерацию анионита проводили раствором аммиака с концентрацией 5%



В процессе ионообменной очистки достигается высокая эффективность очистки по разделенным катионам металлов с последующей регенерацией ионообменной смолы и использованием в производственном цикле регенерационных растворов. Определена обменная емкость катионита КУ-2-8- 187,2 мг/г и анионита АН-31 -161,4 мг/г.

Таблица

Показатели эффективности очистки на ионообменниках

Показатели	Наименование катиона	
	Cu <sup>+2</sup>	Fe <sub>общ</sub>
Концентрация катионов исх., г/л	7,4	0,95
Концентрация катиона в элюате, после катионита, г/л	0,06	0,03
Эффективность очистки, %	99,2	96,8
Концентрация катиона в элюате после анионита, г/л	0	0,004
Эффективность очистки, %	100	99,5

### Выводы

1. Использование электрохимического восстановления из отработанного медьсодержащего раствора позволило получить дисперсную медь с содержанием фракций 0,07мкм не менее 95%.

2. Использование селективной химической реакции позволило увеличить эффективность очистки по разделяемым катионам металлов. В процессе ионообменной очистки достигается высокая эффективность очистки по разделенным катионам металлов с последующей регенерацией ионообменной смолы и использованием в производственном цикле регенерационных растворов.

### Библиографический список

1. Даценко В.В. Решение экологических проблем при утилизации компонентов сточных вод гальванических производств // Восточно-Европейский журнал передовых технологий-2012, Т.6, №10, с.33-38.
2. Бабенко С.А., Пищулин В.П. Пути переработки травильных растворов // Известия Томского политехнического института им. Кирова С.М.-Т.259.- 1975.- С.37-39
3. Пат № 2640704 РФ МПК В 22А 9/24 С22В15/00. Способ цементации медьсодержащих растворов / Никитина Е.Л., Ефимова Г.А.
4. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии / Ю.Ю. Лурье- М.: Химия, 1971.-248с.

### References

1. Datsenko V.V. Solving environmental problems during the disposal of wastewater components from galvanic plants // East European Journal of Advanced Technologies-2012, T.6, No. 10, p. 33-38.
2. Babenko S.A., Pishchulin V.P. Ways of processing etching solutions // Bulletin of the Tomsk Polytechnic Institute. Kirova S.M.-T.259.- 1975.- P.37-39
3. Pat № 2640704 of the Russian Federation IPC V 22A 9/24 C22B15 / 00. The method of cementation of copper-containing solutions / Nikitina E.L., Efimova G.A.
4. Lurie Y. Yu. Handbook of analytical chemistry / Yu.Yu. Lurie-M.: Chemistry, 1971.- 248p.

УДК 625.7

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доцент кафедры  
техносферной и пожарной безопасности  
С.Д. Николенко,  
Канд. техн. наук, доцент кафедры строи-  
тельной техники и инженерной механики  
имени профессора Н.А. Ульянова  
А.Н. Щиенко.  
Россия, г. Воронеж,  
e-mail: [nikolenkoppl@yandex.ru](mailto:nikolenkoppl@yandex.ru)*

*Voronezh State  
Technical University  
Cand. tech. Sciences, Associate Prof.  
technosphere and fire safety  
S.D. Nikolenko  
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. Shchienko.  
Russia, Voronezh,  
e-mail: [nikolenkoppl@yandex.ru](mailto:nikolenkoppl@yandex.ru)*

С.Д. Николенко, А.Н. Щиенко

### **ПРИМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ В ЗОНАХ ВОЗМОЖНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

В работе приведены результаты исследований дисперсно-армированных бетонов. Показаны области их возможного применения. В частности в конструкциях подверженных знакопеременному воздействию, ударной нагрузке, временные сооружения для зон возможных землетрясений.

**Ключевые слова:** дисперсно-армированный бетон, результаты исследований, знакопеременные воздействия, землетрясения, монолитные и сборные железобетонные конструкции.

S.D. Nikolenko, A.N. Shchienko

### **APPLICATION OF DISPERSED REINFORCED CONCRETE IN AREAS OF POSSIBLE EARTHQUAKES**

The paper presents the results of studies of dispersed reinforced concrete. Areas of their possible application are shown. In particular, in structures subject to alternating effects, shock loads, temporary structures for zones of possible earthquakes.

**Keywords:** dispersed reinforced concrete, research results, alternating effects, earthquakes, monolithic and prefabricated reinforced concrete structures.

В мире, в том числе и в нашей стране, имеются районы, где возможно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) связанных с землетрясениями. Согласно работы [1] источником землетрясения является внезапное движение грунта по обеим сторонам от разлома, которое происходит от разрыва земной коры. А само землетрясение представляет собой систему волн колебаний, которые возбуждаются этой дислокацией. В результате здания и сооружения могут получить повреждения. При этом информация о землетрясениях, которые могут причинить эти повреждения, сильно ограничена. В работе [2] достаточно подробно рассмотрены виды землетрясений и их последствий с примерами.

В районах землетрясений возможны следующие последствия: разрушение зданий и сооружений, возникновение пожаров. Если все же ЧС произошла, то возникает необходимость доставить в зону ЧС тяжелой техники и другого крупногабаритного оборудования. Кроме этого может возникнуть необходимость временного размещения людей и материально-технических средств в этой зоне. Для решения таких задач важным является выбор строительного материала.

Уже достаточно долго основным материалом, применяемым в строительстве, является бетон. Основным недостатком бетона является его слабое сопротивление растягивающим воздействиям. Для восприятия таких воздействий бетон армируется стержневой или сеточной арматурой. Это приводит к неоднородности структуры бетона, например, к образованию пустот, и ухудшению деформационных характеристик конструкций.

В течение 50-55 лет в мире, а в последние 30-35 лет и у нас в стране достаточно активно ведутся исследования дисперсного армирования бетона[3,4,5,6,7]. Дисперсное армирование представляет собой хаотично распределенные в бетонной матрице отрезки различных волокон (металлических, стеклянных, базальтовых, полимерных и др.). Материал, имеющий дисперсное армирование называется фибробетон. В зависимости от материала фибры фибробетон называют сталифибробетон, стеклофибробетон, базальтофибробетон и т.д.

Многие исследования фибробетона проводились либо с неметаллическими фибрами, либо с металлическими относительно длинными фибрами  $l/d = 80-100$ . Однако такие металлические фибры при введении в бетонную могут комковаться (образовывать так называемые «ежи»)(рис.1). Что ухудшает качество армирования, появляются зоны с неравномерным армированием фибрами. Поэтому в мире все чаще используются относительно короткие фибры с  $l/d = 40-60$ . Однако исследований бетонов с такими фибрами еще недостаточно.



Рис. 1. Вид комков фибры – «ежа»

Целью исследования являлось обоснование рациональных областей применения дисперсно-армированных бетонов с относительно короткими фибрами в зонах возможных землетрясений.

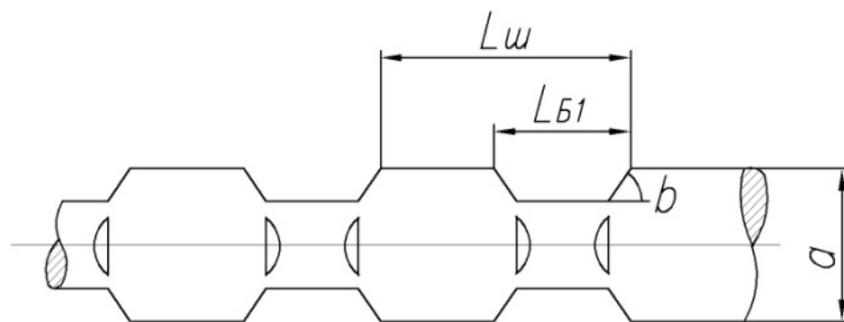
Разрушительные последствия землетрясений можно значительно сократить, например, путем строительства зданий устойчивых к землетрясению[8]. При землетрясении все конструкции зданий подвергаются динамическому воздействию, обычно знакопеременному. Поведению конструкций при знакопеременном воздействии посвящена работа[9].

В частности в работе показано преимущество дисперсного армирования балочных элементов при малоцикловом статическом воздействии. При этом отмечено, что в таких конструкциях должно быть комбинированное армирование стержневой и дисперсной арматурой (рис. 2).



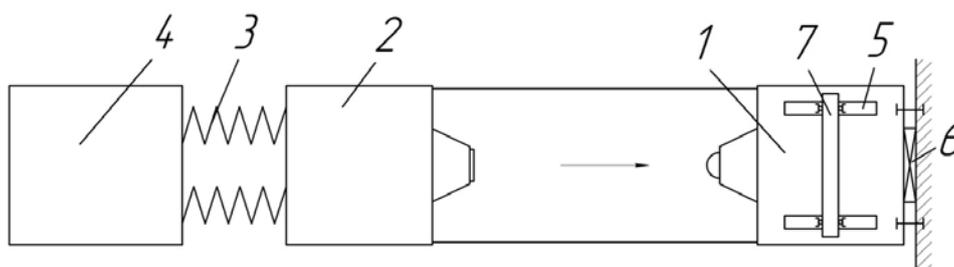
**Рис. 2.** Схема комбинированно-армированной балки:  
1 – стержневое армирование – продольное; дисперсное армирование – условно не показано

В качестве дисперсного армирования использовалась металлическая профилированная фибра относительно короткая длиной 36 мм и диаметром 0,8 мм, изготовленные на специальном станке из проволоки. Такие фибры имели профилированную поверхность для улучшения сцепления с бетонной матрицей (рис. 3).



**Рис. 3.** Схема профилирования фибр в двух плоскостях:  
 $L_{ш}$  - шаг профилирования;  $L_{Б1}$  – длина вмятины от валика станка;  
 $b$  – угол смятия;  $d$  – диаметр фибры

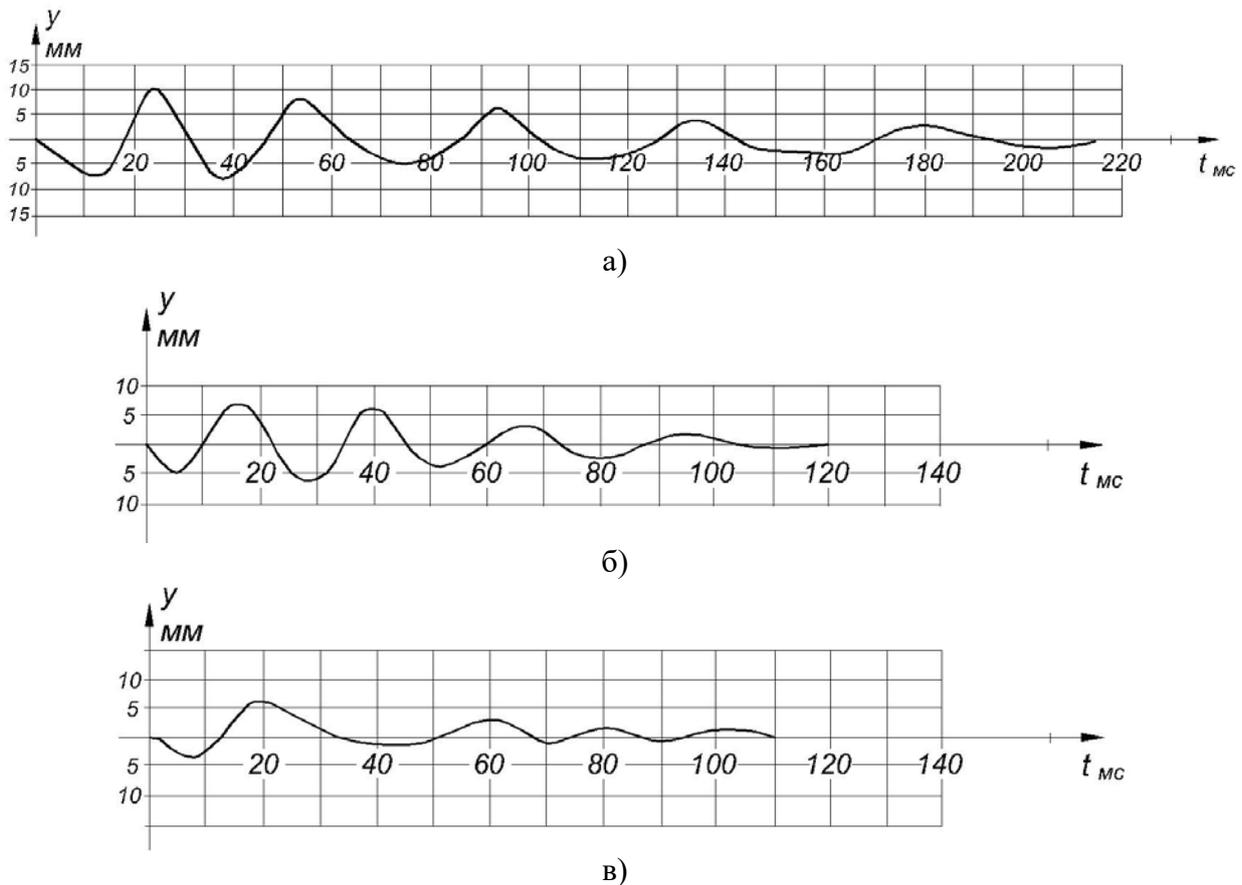
Для исследования поведения строительных конструкций при знакопеременных динамических воздействиях была спроектирована и изготовлена специальная рама которая крепилась к неподвижной тележке динамического стенда [10] (рис. 4).



**Рис. 4.** Схема динамического стенда:  
1 – неподвижная тележка; 2 – ударная тележка; 3 – силовые пружины; 4 – механизм сжатия пружин;  
5 – крепление балки к тележке; 6 – упругая прокладка

С помощью этого стенда были проведены исследования поведения балочных элементов при динамическом знакопеременном воздействии (типа сейсмических) [11].

Проведенные исследования показали целесообразность применения конструкций с комбинированным армированием при динамическом знакопеременном воздействии. Сокращается время и амплитуда колебаний конструкции (рис. 5).



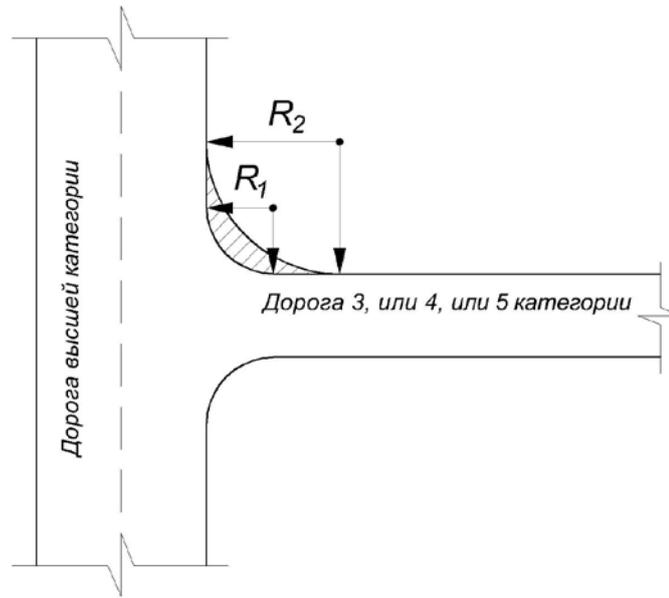
**Рис. 5.** Графики колебаний экспериментальных балок:

а) – железобетонных; б) – фиброжелезобетонных с 1% фибр; в) - фиброжелезобетонных с 2% фибр

В зоне землетрясений часто возникает необходимость доставки к месту проведения аварийно-восстановительных работ тяжелой техники, строительных материалов и вагончиков для временного размещения спасателей и рабочих. Для доставки всего этого можно использовать автопоезда. Для доставки тяжеловесных и тихоходных машин (например, экскаваторы, бульдозеры) можно использовать большегрузные прицепы и полуприцепы, которые при соединении с автомобилем-тягачем образуют автопоезд. Длина такого автопоезда может быть 24 метра и более. Радиус поворота такого автопоезда может составлять 25–30 метров, что затрудняет его использование в определенных случаях[12,13,14].

Например, дороги находящихся в зоне землетрясений, часто относятся к дорогам 3, 4 и 5 категории. Примыкания и пересечения дорог, выполняемые в одном уровне, делают для дорог 3 категории под углом  $90^\circ$  с радиусом 20 метров и для дорог 4 и 5 категорий с радиусом 15 метров [15]. А автопоезда с радиусом поворота в 30 метров не смогут осуществить поворот с дороги более высокой категории на дорогу более низкой категории, ведущую в зону землетрясения. Срезать угол и выехать на обочину с большим грузом небезопасно из-за возможного проседания грунта и опрокидывания автопоезда, особенно в ненастную погоду (например, дождь, мокрый снег).

Чтобы такой поворот оказался возможным, предлагается забетонировать уширение в месте поворота автопоезда с применением фибробетона (рис. 6).

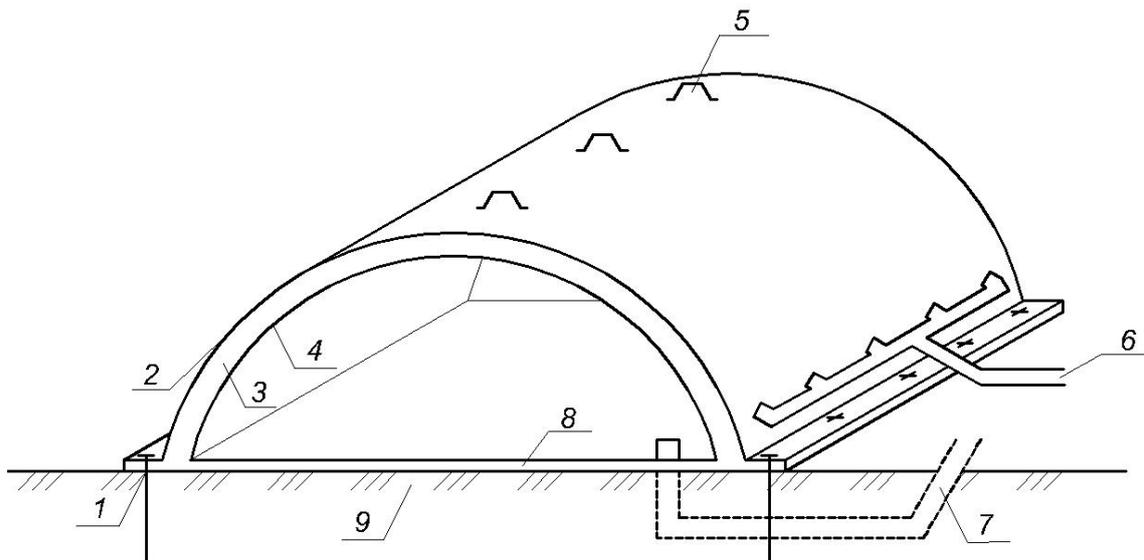


**Рис. 6.** Схема увеличения радиуса поворота в месте примыкания дороги низшей категории:  
 $R_1$  – существующий радиус; радиус  $R_2$  – получаемый радиус

Это увеличит безопасный радиус поворота автопоезда. Проведенные исследования показали повышенную ударную прочность и динамическую прочность фибробетона[16].

Технология применения дисперсного армирования обязательно должна обеспечивать равномерность распределения фибр в конструкции[17-20].

В зонах возможных землетресений часто возникает необходимость временного размещения техники и материальных ценностей. Для этой цели разработаны конструкции временных сооружений[21,22,23] (рис. 7). В этих сооружениях для увеличения прочности проводить дисперсное армирование материала межоболочного пространства. Для практического применения таких конструкций были проведены исследования материалов используемых для межоболочного пространства [24].



**Рис. 7.** Схема быстровозводимого сооружения:  
 1 – конструкция крепления сооружения к основанию, 2 – наружная оболочка,  
 3 – материал межоболочного пространства, 4 – внутренняя оболочка,  
 5 – патрубок отсоса воздуха и лишней влаги, 6 – патрубки подачи жидкости для затворения материала межоболочного пространства, 7 – система подачи воздуха внутрь опалубки, 8 – пол сооружения, 9 - основание

## Выводы

1. Показана целесообразность применения дисперсного армирования с относительно короткими фибрами  $l/d = 45$  в конструкциях зданий и сооружений в зонах возможных землетрясений.

2. В частности рациональными областями использования таких фибробетонов могут быть:

- монолитные и сборные железобетонные конструкции испытывающие знакопеременные воздействия типа сейсмических;
- участки дорог подверженные динамическим воздействиям, включая ударные;
- конструкции временных быстровозводимых сооружений.

## Библиографический список

1. Анализ сейсмологических данных для строительства / А. В. Туманов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2015. № 3 (15). С. 151-158.
2. Сывороткин В.Л. Землетрясения. Пространство и время. 2(4)/2011. С. 124-137.
3. Московский С.В., Носков А.С., Руднов В.С., Алехин В.Н. Влияние дисперсного армирования на деформационно-прочностные свойства бетона. Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 3(30). 2016. С 67-71.
4. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов // Вопросы теории и проектирования, технологии, конструкции. М.: АСВ, 2004. 560 с.
5. Мусифулина А.А. Перспективы развития дисперсного армирования. Научные итоги года: достижения, проекты, гипотезы. №6. 2016. С. 106-110.
6. Tiberti G, Minelli F, Plizzari G (2015) Cracking behavior in reinforced concrete members with steel fibers: a comprehensive experimental study. Cem Concr Res 68:24–34. doi: 10.1016/j.cemconres.2014.10.011.
7. Experimental and finite element analysis of creep behaviour of steel fibre reinforced high strength concrete beams. Construction and Building Materials. Volume 173, 10 June 2018, Pages 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.013>.
8. Николенко С.Д. Применение фибрового армирования в зданиях и сооружениях, расположенных в сейсмоопасных районах. В сборнике: Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях межвузовский сборник научных трудов. Воронежский государственный технический университет, Международная академия наук экологии безопасности человека и природы; В. И. Феднин - ответственный редактор. Воронеж, 2006. С. 38-46.
9. Николенко С.Д., Ставров Г.Н. Экспериментальное исследование работы фибробетонных конструкций при знакопеременном малоцикловом нагружении. Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1986. № 1. С. 18-22.
10. Николенко С.Д., Сазонова С.А., Манохин В.Я. Физическое и численное моделирование динамических воздействий на конструкции. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6. № 2 (21). С. 301-311.
11. Nikolenko S.D., Sushko E.A., Sazonova S.A., Odnolko A.A., Manokhin V.Ya. BEHAVIOUR OF CONCRETE WITH A DISPERSE REINFORCEMENT UNDER DYNAMIC LOADS. Инженерно-строительный журнал. 2017. № 7 (75). С. 3-14.
12. Николенко С.Д., Васильченков В.Ф., Кистинев В.И. О проблеме использования автомобильного поезда при ликвидации чрезвычайных ситуаций. В сборнике: Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях межвузовский сборник науч-

ных трудов. Воронежский государственный технический университет, Международная академия наук экологии безопасности человека и природы; В. И. Федянин - ответственный редактор. Воронеж, 2006. С. 29-33.

13. Николенко С.Д. Влияние параметров автомобильных дорог на экологическую безопасность. В сборнике: Научно-методическое обеспечение создания военной инфраструктуры вооруженных сил Российской Федерации Москва, 2009. С. 229-236.

14. Николенко С.Д. К вопросу экологической безопасности автомобильных дорог. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы строительного материаловедения. 2008. № 1. С. 141-145.

15. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85.

16. Лоскутов А.С., Николенко С.Д. Оценка влияния дисперсного армирования на качество бетонных конструкций после ударных воздействий. Комплексная безопасность. 2017. Т. 1. № 1. С. 65-72.

17. A. Abrishambaf V.M.C.F. Cunha J.A.O. Barros. The influence of fibre orientation on the post-cracking tensile behaviour of steel fibre reinforced self-compacting concrete. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 31 (2015) 38-53; DOI: 10.3221/IGF-ESIS.31.04.

18. Tkachenko A.N., Nikolenko S.D., Fedulov D.V. Theoretical estimation of fiber distribution in fiber reinforced concretes. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*. 2011. № 3 (11). С. 36-41.

19. Ige, Olubisi & Barnett, Stephanie & Chiverton, John & Nassif, Ayman & Williams, John. Nger, thinner fibres and smaller aggregates were noted to give the best results. 2017 DOI: 10.1080 / 17436753.2017.1284389.

20. Николенко С.Д., Ткаченко А.Н., Федулов Д.В. Особенности технологических схем приготовления фибробетона. В сборнике: Актуальные проблемы современного строительства материалы Международной научно-технической конференции, (Пенза, 23-25 апреля 2007 года). под общей редакцией Т. И. Барановой. Пенза, 2007. С. 320-323.

21. Николенко С.Д., Казаков Д.А. Сооружение, возведенное на несъемной пневматической опалубке. Патент на изобретение RU 2371555 С1, 27.10.2009. Заявка № 2008122797/03 от 05.06.2008.

22. Николенко С.Д., Казаков Д.А., Михневич И.В. Быстровозводимое сооружение на базе пневматической опалубки. Патент на изобретение RU 2415237 С1, 27.03.2011. Заявка № 2009139731/03 от 27.10.2009.

23. Николенко С.Д., Михневич И.В. Разработка конструкций пневматических опалубок. Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2014. № 2 (15). С. 18-22.

24. Михневич И.В., Николенко С.Д., Черемисин А.В. Сравнительное исследование характеристик материалов, применяемых в быстровозводимых сооружениях. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2016. № 1 (41). С. 48-55.

## References

1. Analysis of seismological data for construction / A. V. Tumanov // *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2015. No 3 (15). S. 151-158.
2. Syvorotkin V.L. Earthquakes. *Space and time*. 2 (4) / 2011. S. 124-137.

3. Moskovsky S.V., Noskov A.S., Rudnov V.S., Alekhin V.N. The effect of dispersed reinforcement on the deformation-strength properties of concrete. *Academic Bulletin UralNIIproekt RAASN*. 3 (30). 2016.S. 67-71.
4. Rabinovich F.N. Composites based on dispersed reinforced concrete // *Problems of theory and design, technology, construction*. M.: DIA, 2004.560 s.
5. Musifulina A.A. Prospects for the development of dispersed reinforcement. *Scientific results of the year: achievements, projects, hypotheses*. No. 6. 2016.S. 106-110.
6. Tiberti G, Minelli F, Plizzari G (2015) Cracking behavior in reinforced concrete members with steel fibers: a comprehensive experimental study. *Cem Concr Res* 68:24–34. doi: 10.1016/j.cemconres.2014.10.011.
7. Experimental and finite element analysis of creep behaviour of steel fibre reinforced high strength concrete beams. *Construction and Building Materials*. Volume 173, 10 June 2018, Pages 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.013>.
8. Nikolenko S.D. The use of fiber reinforcement in buildings and structures located in earthquake-prone areas. In the collection: *Life support systems and emergency management inter-university collection of scientific papers*. Voronezh State Technical University, International Academy of Ecology of Ecology of Human and Nature Safety; V. I. Fedyanin - executive editor. Voronezh, 2006.S. 38-46.
9. Nikolenko S.D., Stavrov G.N. An experimental study of the work of fiber-reinforced concrete structures under alternating low-cycle loading. *News of higher educational institutions. Construction and architecture*. 1986. No. 1. S. 18-22.
10. Nikolenko S.D., Sazonova S.A., Manokhin V.Ya. Physical and numerical modeling of dynamic effects on structures. *Modeling, optimization and information technology*. 2018.Vol. 6. No. 2 (21). S. 301-311.
11. Nikolenko S.D., Sushko E.A., Sazonova S.A., Odnolko A.A., Manokhin V.Ya. BEHAVIOUR OF CONCRETE WITH A DISPERSE REINFORCEMENT UNDER DYNAMIC LOADS. *Civil Engineering Journal*. 2017. No. 7 (75). S. 3-14.
12. Nikolenko S.D., Vasilchenkov V.F., Kistinev V.I. About the problem of using a car train in emergency response. In the collection: *Life support systems and emergency management inter-university collection of scientific works*. Voronezh State Technical University, International Academy of Ecology of Human Security and Nature; V. I. Fedyanin - executive editor. Voronezh, 2006.S. 29-33.
13. Nikolenko S.D. The impact of road parameters on environmental safety. In the collection: *Scientific and methodological support for the creation of the military infrastructure of the armed forces of the Russian Federation* Moscow, 2009. P. 229-236.
14. Nikolenko S.D. On the issue of environmental safety of roads. *Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*. Series: *Physico-chemical problems of building materials science*. 2008. No. 1. S. 141-145.
15. SP 34.13330.2012. Car roads. Updated version of SNiP 2.05.02-85.
16. Loskutov A.S., Nikolenko S.D. Assessment of the effect of dispersed reinforcement on the quality of concrete structures after impacts. *Comprehensive Security*. 2017.Vol. 1. No. 1. S. 65-72.
17. A. Abrishambaf V.M.C.F. Cunha J.A.O. Barros. The influence of fibre orientation on the post-cracking tensile behaviour of steel fibre reinforced self-compacting concrete. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 31 (2015) 38-53; DOI: 10.3221/IGF-ESIS.31.04.
18. Tkachenko A.N., Nikolenko S.D., Fedulov D.V. Theoretical estimation of fiber distribution in fiber reinforced concretes. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architec-*

ture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2011. № 3 (11). C. 36-41.

19. Ige, Olubisi & Barnett, Stephanie & Chiverton, John & Nassif, Ayman & Williams, John. Nger, thinner fibres and smaller aggregates were noted to give the best results. 2017 DOI: 10.1080 / 17436753.2017.1284389.

20. Nikolenko S.D., Tkachenko A.N., Fedulov D.V. Features of technological schemes for the preparation of fiber concrete. In the collection: Actual problems of modern construction materials of the International scientific and technical conference, (Penza, April 23-25, 2007). edited by T.I. Baranova. Penza, 2007.S. 320-323.

21. Nikolenko S.D., Kazakov D.A. The construction erected on a fixed pneumatic formwork. Patent for invention RU 2371555 C1, 10.27.2009. Application No. 2008122797/03 of 05.06.2008.

22. Nikolenko S.D., Kazakov D.A., Mikhnevich I.V. Prefabricated building on the basis of pneumatic formwork. Patent for invention RU 2415237 C1, 03/27/2011. Application No. 2009139731/03 of 10.27.2009.

23. Nikolenko S.D., Mikhnevich I.V. Development of pneumatic formwork designs. Science Magazine. Engineering systems and facilities. 2014. No. 2 (15). S. 18-22.

24. Mikhnevich I.V., Nikolenko S.D., Cheremisin A.V. Comparative study of the characteristics of materials used in prefabricated buildings. Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture. 2016. No. 1 (41). S. 48-55.

*«Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический универси-  
тет (МАДИ)» г. Москва, РФ,  
Магистрант  
Мохаммад Ростамиан (Иран),  
проф., д.т.н., зав.кафедрой  
В.А. Зорин  
+79166382144, E-mail: [madi-dm@list.ru](mailto:madi-dm@list.ru)*

*"The Moscow automobile and road state  
technical university (MADI)"  
Moscow, RF,  
Magistrate  
Mohammad Rostamian (Iran),  
Professor, r. of Science, Head of department  
V.A. Zorin  
+7916638244, E-mail: [madi-dm@list.ru](mailto:madi-dm@list.ru)*

Мохаммад Ростамиан, В.А.Зорин

### **СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ИРАНА**

В статье рассматривается возможность снижения рисков при использовании колесных автомобильных транспортных средств в различных климатических условиях на примере эксплуатации в Иране. Приведены результаты анализа климатических и дорожных условий эксплуатации автомобильных транспортных средств в Республике Иран. Особое внимание уделено анализу конструктивной безопасности и аварийности автомобилей, производимых в Иране. Оценка рисков показана на примере тормозной системы легкового автомобиля. Предлагаемая в статье методика анализа и оценки рисков позволяет повысить надёжность и безопасность эксплуатации автомобиля благодаря предупреждению отказов и предотвращению возможных аварий. Рассмотрена система технических мероприятий, обеспечивающих безаварийную эксплуатацию автотранспортных средств. Статья предназначена работникам автотранспортных предприятий и диллерских компаний, заинтересованных в снижении расходов на ремонт автомобилей в гарантийный период с учетом региональных особенностей эксплуатации.

**Ключевые слова:** риск, оценка, методика, климат, безопасность, автомобиль.

Mohammad Rostamian, V.A. Zorin

### **RISK REDUCTION BY PRODUCTION AND CAR REPAIRS IN THE CONDITIONS OF IRAN**

In article the possibility of risk reduction when using wheel automobile vehicles in various climatic conditions on the example of operation in Iran is considered. Results of the analysis of climatic and road service conditions of automobile vehicles are given in the Republic Iran. Special attention is paid to the analysis of constructive safety and accident rate of the cars manufactured in Iran. Risk assessment is shown on the example of the braking(brake) system of the car. The technique of the analysis and risk assessment offered in article allows to increase reliability and safety of operation of the car thanks to prevention of refusals and prevention of possible accidents. The system of the technical actions providing accident-free operation of vehicles is considered. Article is intended to employees of the motor transportation enterprises and dealer companies interested in drop of expenses on car repairs during the guarantee period taking into account regional features of operation.

**Keywords:** risk, assessment, technique, climate, safety, car.

Анализ и оценка рисков при производстве и эксплуатации автомобилей в условиях Ирана является актуальной проблемой.

По официальным статистическим данным на дорогах Ирана в результате аварий ежегодно погибают более 16 000 человек. Авария является основной причиной смертности в Иране среди молодежи в возрасте от 15 до 29 лет. Это значение показателя смертности в Иране в пять раз выше, чем в других странах мира. Основными факторами, вызывающими дорожно-транспортные происшествия в Иране являются обледенение дорожного покрытия, осадки, туман, лавины, сильные морозы и отказы автомобилей. Среди климатических явлений, влияющих на безопасность и устойчивость движения автомобиля, можно отметить роль таких факторов, как порывистый ветер, обледенение дорожного полотна и туманы. Основными метеорологическими переменными, влияющими на дорожно-транспортные происшествия, являются снег, дождь и суточные перепады температуры. По мере увеличения интенсивности осадков количество аварий увеличивается на 6%. Изучение риска аварий в дождливую погоду, когда дорога влажная и скользкая, показывает, что количество аварий увеличивается в три раза. Поскольку Иран является горной страной, сложный рельеф местности и соответствующие профили автомобильных дорог также представляют собой опасность для водителей автомобилей, вызывая дополнительные риски аварий. Дороги Ирана разделены на три категории: - горные; - лесные; - прибрежные. Из общей протяженности автомобильных дорог Ирана около 70% составляют горные дороги (рис. 1).



Рис. 1. Типичный профиль автомобильной дороги Ирана

В настоящее время в Иране не используются современные инструменты прогнозирования затрат на обеспечение безопасности движения автомобиля с учетом многофакторного влияния условий эксплуатации на техническое состояние и необходимость ремонта автомобиля. Методы анализа и управления рисками в системе обеспечения безопасности использования автомобилей не применяются. В связи с этим гарантийные обязательства при вводе новых моделей автомобилей в эксплуатацию устанавливаются непосредственно поставщиками на основе собственного опыта и интуиции.

Проводимые в МАДИ исследования направлены на разработку мероприятий по снижению рисков при производстве и эксплуатации автомобилей в условиях Ирана.

Надежность автомобиля является ключевым компонентом его безопасности [1,2]. Существует множество факторов, которые не могут быть учтены на стадиях проектирования и производства:

- 1) человеческий фактор;
- 2) Погодные и климатические факторы;
- 3) режимы работы и интервалы обслуживания;
- 4) качество и состояние дорожного покрытия;
- 5) качество эксплуатационных материалов и запчастей;
- 6) уровни технологического оснащения сервисных компаний;
- 7) уровень квалификации персонала, выполняющего техническое обслуживание автомобиля.

В качестве объекта исследования был выбран легковой автомобиль С-сегмента наиболее популярного в Иране. (В целях безопасности и конфиденциальности производитель и марка этого автомобиля не разглашаются). В работе предпринята попытка изучить возможность использования методов оценки риска для выявления потенциально опасных событий, которые приводят к дополнительным затратам на обеспечение надёжности и безопасности автомобиля на этапе эксплуатации. Одним из важнейших элементов автомобиля точки зрения обеспечения безопасности является тормозная система.

По результатам анализа запросов клиентов на ремонт автомобилей в гарантийный период, проведённого на предприятиях Ирана, разработан перечень конструктивных элементов тормозной системы, определяющих уровень её надёжности (рис.2).



**Рис. 2.** Статистика отказов конструктивных элементов тормозной системы автомобиля в гарантийный период

При отказе перечисленных элементов производитель и поставщик автомобилей несут убытки, связанные с необходимостью ремонта транспортного средства. Задачами проводимого исследования являются:

- определение допустимого уровня риска для перечисленных элементов тормозной системы автомобиля;
- анализ причин и последствий возникновения отказов;
- разработка мероприятий по предотвращению отказов и повышению надёжности тормозной системы автомобиля при проведении технического обслуживания (ТО) и ремонта подвижного состава автотранспорта.

**Основными мероприятиями по снижению рисков в процессе ТО и ремонта автомобилей являются [3,4]:**

- подбор оборудования для восстановления ответственных деталей, отвечающих за безопасность автомобиля;
- обоснование видов и поставщиков запчастей, обеспечивающих снижение рисков отказов автомобилей;
- подготовка и привлечение к работе квалифицированных специалистов в области управления рисками.

**Система мероприятий, направленных на обеспечение допустимого уровня рисков [5,6] для производителей запасных частей включает:**

1. Разработку системы технического нормирования допустимого уровня риска для производителей запчастей, влияющих на безопасность автотранспорта.
2. Повышение требований к аккредитации органов по сертификации и испытательным лабораториям, испытывающим и сертифицирующим запасные части к автотранспортной технике.
3. Разработка методики оценки рисков при подтверждении соответствия запчастей с применением методов FMEA-анализа.
4. Привлечение квалифицированных специалистов в области оценки рисков деталей машин, влияющих на безопасность.
5. Разработка и утверждение проекта национального регламента республики Иран для ограничения притока некачественных запчастей на вторичный рынок.

6. Развитие системы логистики поставок запчастей внутри страны через центральные, региональные и обслуживающие мелкооптовые организации.

В ходе описанных исследований проведены анализ и оценка рисков, связанных с отказами тормозной системы автомобиля в соответствии с положениями ГОСТ Р ИСО / МЭК 31010-2011 Управление рисками. Методы оценки рисков.

Для учёта влияния региональных условий эксплуатации на надежность автомобиля при анализе и оценке рисков транспортного средства используется двухэтапный подход [1]:

1. Определение группы рисков, оказывающей наибольшее влияние на цели компании. Оценка рейтинга каждого выбранного риска.

2. Расчет общей оценки риска с учётом условий эксплуатации.

Результаты экспериментальных исследований показали, что на размер гарантийных обязательств влияют следующие факторы:

- 1) надежность автомобиля;
- 2) характеристика района, в котором работает машина;
- 3) стоимость запчастей, условия эксплуатации.

Шкалы оценки для каждого из видов риска представлены в таблице 1.

Таблица 1

Риск	алл	Оценка	Описание
1		3	4
Риск разработки		Низкий	элементы экстерьера, интерьера кузова
		Средний	Системы пассивной безопасности, ДВС, трансмиссия, подвеска
		Высокий	Рулевое управление, системы активной безопасности
		Критический	Тормозная система
Риск региона эксплуатации		Низкий	Тегеран
		Средний	Северные регионы
		Высокий	Южные регионы
		Критический	Центральные районы
Риск увеличения стоимости запасных частей и работ		Низкий	Модель является локальной и основные запасные части производятся на территории Ирана
		Средний	Большинство запасных частей импортируются. Есть возможность наладить локальное производство
		Высокий	100% импорт и невозможность наладить локальное производство ввиду отсутствия технологий
		Критический	Автопроизводитель покидает рынок Ирана

Величина среднего риска определяется с помощью известного выражения [1]

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij}(V) P_j P_i(j, Z_j) X_i$$

где  $P_i$  - вероятность получения ущерба в результате наступления неблагоприятного события  $i$ -го типа;

$P_j$  - вероятность наступления неблагоприятного события  $j$ -го типа;

$X_i$  - величина ущерба (обычно в стоимостном выражении, но в случае наступления экологического риска может быть выражена в натуральных показателях);

$R$  - количественная мера риска (выражается в тех же показателях, что и ущерб);

$n$  - число возможных вариантов ущерба при наступлении любого неблагоприятного события (включая и ущерб, равный нулю);

$Q_{ij}(V)$  - вероятность выбора объектом ситуации с вероятностью наступления неблагоприятного события и законом  $P_j$  распределения ущерба  $P_i(j, Z_j)$ , зависящим от принятых защитных мер  $Z_j$ .

Предлагаемый подход при обосновании гарантийных обязательств производителей и поставщиков новых моделей транспортных средств, вводимых в эксплуатацию на предприятиях Ирана, позволяет планировать номенклатуру и осуществлять мониторинг технических мероприятий, обеспечивающих безопасное использование автомобилей с учётом региональных особенностей эксплуатации.

#### Библиографический список

1. Зорин В.А. Надёжность механических систем. Учебник. М: Изд-во «ИНФРА-М» / Москва 2015. – 380 с.
2. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем. 2-е изд., перераб. М: Изд-во «Академия», / Москва 2015. -208 с.
3. Баурова, Н.И. Влияние климатических и эксплуатационных факторов на свойства ремонтных материалов. Журнал Автотранспортное предприятие / 2009 - №3 - с.13-15.
4. N.S. Sevryugina, E. A. Volkov, E. P. Litovchenko, Modern Applied Science 8(5), (2014).
5. N. Sevryugina, MATEC Web of Conferences, 117, 00151 (2017).
6. Руководство ИСО/МЭК 73:2002 «Управление риском. Словарь. Руководящие указания по использованию в стандартах».
7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010- 2011. Управление рисками. Методы оценки рисков.

#### References

1. Zorin V. A. Reliability of mechanical systems. Textbook. M: INFRA-M / Moscow publishing house of 2015. - 380 pages. (In Russian)
2. Zorin V. A. Bases of operability of technical systems. 2nd prod., reslave. M: Akademiya publishing house, / Moscow 2015.-208 pages. (In Russian)
3. Baurova N. I. Influence of climatic and operational factors on properties of repair materials. The magazine the Motor transportation enterprise / Moscow 2009 - No. 3 - page 13-15. (In Russian).
4. N. S. Sevryugina, E. A. Volkov, E. P. Litovchenko, Modern Applied Science 8(5), (2014).
5. N. Sevryugina, MATEC Web of Conferences, 117, 00151 (2017).
6. Management of ISO/MEK 73:2002 "Management of risk. Dictionary. Guidelines on use in standards".
7. GOST P ISO/MEK 31010-2011 Management of risk. Risk assessment methods.

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

УДК 625.855.42

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доц. кафедры проекти-  
рования автомобильных дорог и мостов  
А.В. Андреев Россия, г. Воронеж,  
тел. +7(473) 271-52-02  
e-mail: aavturbo@yandex.ru*

*Voronezh state  
technical University  
Kand. Techn. Sciences, Assoc. of the Depart-  
ment of design of automobile roads and  
bridges A. V. Andreev, Russia, Voronezh,  
tel. +7(473) 271-52-02  
e-mail: aavturbo@yandex.ru*

А.В. Андреев

## **ПРИМЕНЕНИЕ ШЛАКОВЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД**

В статье рассматривается вопрос об использовании отходов промышленности черной и цветной металлургии Новолипецкого металлургического комбината. Применение доменных шлаков в конструктивных слоях дорожной одежды на примере опытно-экспериментального участка в Липецкой области. Приведен сравнительный анализ шлаковых и традиционных асфальтобетонных покрытий в период эксплуатации в зимний период.

**Ключевые слова:** отходы металлургической промышленности, шлаковый щебень, асфальтобетонное покрытие, транспортно-эксплуатационные показатели.

A.V. Andreev

## **APPLICATION OF SLAG ASPHALT COATINGS IN THE CONDITIONS OF THE LIPETSK REGION WHEN OPERATING THE ROADS GENERAL USE DURING THE WINTER PERIOD**

The article discusses the use of waste from the ferrous and non-ferrous metallurgy industry of the Novolipetsk Metallurgical Combine. The use of domain slags in the structural layers of pavement on the example of a pilot site in the Lipetsk region. A comparative analysis of slag and traditional asphalt pavements during operation in the winter is given.

**Keywords:** waste from the metallurgical industry, slag rubble, asphalt concrete coating, transport and operational indicators.

Значительный объем промышленных отходов в Российской Федерации приходится на металлургические шлаки, которые представляют собой трудноутилизируемые отходы.

Основные виды металлургических шлаков – это доменные, образующиеся в ходе восстановительных процессов в доменной печи из железной руды.

Предприятие ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» является одним из крупнейших в России и мире по производству металлопродукции мирового уровня качества. Наиболее массовыми твердыми отходами, образующимися на комбинате, являются, как раз, металлургические шлаки и твердые технологические отходы. Отвалы занимают огромные

полезные площади и оказывают колоссальную нагрузку на окружающую среду. Поэтому, утилизация отходов черной и цветной металлургии носит актуальный характер.

В настоящее время доменные шлаки востребованы потребителем и реализуются практически в полном объеме. Существуют различные способы переработки и использования доменных шлаков - это производство гранулированного шлака, шлаковой пемзы, шлакового щебня и других изделий.

В статье речь пойдет об исследовании применения шлакового щебня в условиях Липецкой области при зимней эксплуатации автомобильных дорог общего пользования.

В нормативной и научной литературе недостаточно внимания уделяется влиянию конструкций дорожных одежд с применением шлакового щебня на транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог в период эксплуатации. Практически не рассмотрены вопросы влияния структуры верхних слоев покрытия и вида минерального материала асфальтобетона на транспортно-эксплуатационные показатели дорожных покрытий.

Основные различия между традиционным и шлаковым асфальтобетоном проявляются в повышенной шероховатости, остаточной пористости и более высоком водонасыщении, при сохранении прочностных показателей и водоустойчивости. Сравнение физико-механических свойств для двух типов асфальтобетонов приведено в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства шлакового и обычного асфальтобетона

Показатели	Обычный асфальтобетон		Шлаковый асфальтобетон	
	Крупнозернистый	Мелкозернистый	Крупнозернистый	Мелкозернистый
Предел прочности, МПа при температуре 50 °С не менее 20 °С не менее 0 °С не менее	0,5	1,0	0,5	0,8
	-	2,2	-	2,0
	-	12,0	-	10,0
Водостойкость, не менее	0,6	0,85	0,7	10,0
Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,5	0,75	0,5	0,75
Остаточная пористость, % по объёму	5-10	2,5-5	18-26	8-15
Водонасыщение, % по объёму	5-10	2-5	14-18	6-8

В Воронежском государственном техническом университете на кафедре проектирования автомобильных дорог и мостов проводятся исследования по изучению применения шлаковых материалов Новолипецкого металлургического комбината в конструктивных слоях дорожной одежды [1, 2].

Программа исследований предусматривала проведение лабораторных опытно-экспериментальных работ по определению теплофизических свойств шлаковых асфальтобетонов. Часть исследований была направлена на изучение динамики образования зимней скользкости на шлаковом асфальтобетонном покрытии в зимний период и сравнение с динамикой образования скользкости на традиционном покрытии с помощью вычислительного эксперимента с использованием математической модели и программы «МЕТЕО» [3, 5]. Для проведения расчётов были рассмотрены два варианта конструкции дорожной одежды, представленных в таблице 2.

В результате расчётов было доказано, что количество случаев образования стекловидного льда на шлаковых асфальтобетонных покрытиях при одинаковых погодных условиях в Липецкой области из-за большей тепловой инерции на 15% ниже, чем на традиционных [3, 5]. Уменьшение случаев образования зимней скользкости позволяет снизить количество ДТП, расходы на борьбу с гололедными образованиями и увеличить скоростной режим.

Варианты конструкций дорожных одежд, принятые для расчёта по программе «МЕТЕО»

№ варианта	Конструкция дорожной одежды	Наименование слоя
1		Горячий шлаковый плотный мелкозернистый асфальтобетон I марки, типа А
		Горячий шлаковый пористый крупнозернистый асфальтобетон
		Горячий шлаковый пористый крупнозернистый асфальтобетон
		Фракционированный доменный шлаковый щебень, устраиваемый по способу заклинки
		Рядовой доменный шлаковый щебень
		Грунт земляного полотна (суглинок и глина)
2		Горячий щебёночный плотный мелкозернистый асфальтобетон I марки, типа А
		Горячий щебёночный пористый крупнозернистый асфальтобетон
		Горячий щебёночный пористый крупнозернистый асфальтобетон
		Фракционированный доменный шлаковый щебень, устраиваемый по способу заклинки
		Рядовой доменный шлаковый щебень
		Грунт земляного полотна (суглинок и глина)

В полевых условиях образование зимней скользкости оценивалось на опытном участке автомобильной дороги II технической категории Липецк – Хлевное на обходе села Борино в Липецкой области, протяжённостью 9,9 км. Конструкции дорожных одежд со шлаковыми асфальтобетонными покрытиями, представлены на рисунке. Участок дороги с традиционным асфальтобетонным покрытием примыкал к экспериментальному и, соответственно, находился в одинаковых климатических условиях.

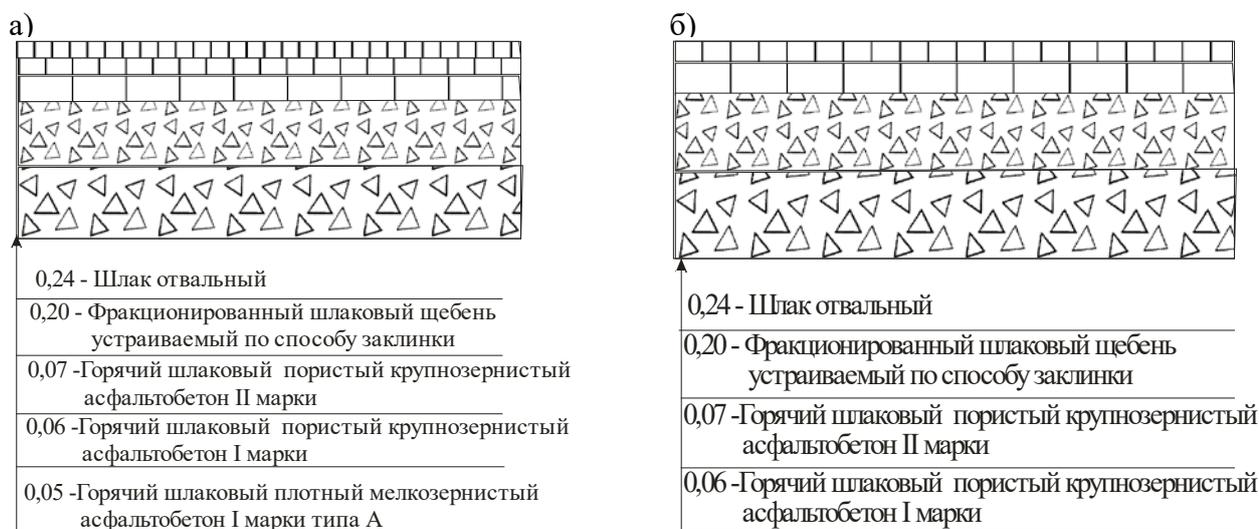


Рис. Варианты конструкций дорожной одежды на опытном участке автомобильной дороги II категории Липецк – Хлевное на обходе села Борино в Липецкой области

Наблюдения показали, что на шероховатых шлаковых асфальтобетонных покрытиях свежевывающий снег в первую очередь откладывается между выступами каменных частиц. Если снегопад не продолжительный или имеет невысокую интенсивность, то происходит постепенное очищение шероховатой дорожной поверхности от снега под действием движущегося транспорта и ветра.

При значительном снегопаде вся поверхность заносится снегом, но образование снежного наката задерживается по сравнению с гладкими традиционными, так как заполнение пространства между выступами каменных частиц требует времени.

Пористая, шероховатая структура шлаковых покрытий значительно облегчает удаление снежно-ледяного слоя, так как его разрушение происходит по границе плотный снег – пористый снег, где сопротивление разрушению меньше, чем на поверхности снежный накат – покрытие, возникает явление режеляции [4].

### Выводы

Анализируя результаты вычислительного эксперимента, а также результаты полевых исследований приходим к выводу, что покрытия созданные на основе доменного шлакового щебня обладают в зимний период большей транспортно-эксплуатационной надёжностью, чем традиционные.

Повышенная шероховатость, пористость шлакового покрытия и теплофизические свойства уменьшают вероятность образования зимней скользкости, обеспечивают постоянный скоростной режим движения автомобилей в зимний период и снижают применение противогололёдных материалов.

Использование шлакового щебня способствует расширению ресурсной базы дорожного строительства в Липецкой и близлежащих областях, уменьшает площади земель, занятых свалками и полигонами, улучшает экосистему прилегающих к ним территорий.

### Библиографический список

1. Андреев А.В. Определение транспортно-эксплуатационных параметров автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями на основе шлаковых материалов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Воронеж, 2005. – 206 с.
2. Андреев А.В. Экспериментальные исследования транспортно-эксплуатационных параметров автомобильных дорог с покрытиями из шлаковых асфальтобетонов // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура №3 2008. - С. 138-143.
3. Самодурова Т.В., Андреев А.В. Математические модели и вычислительный эксперимент при решении задач зимнего содержания дорог // Математика. Компьютер. Образование. Труды 9 Международной конференции, Дубна, 2002. – С. 464-469.
4. Андреев А.В., Еремин В.Г. Определение сил смерзания льда с поверхностью асфальтобетонных покрытий// Научный вестник ВГАСУ, 2003. -№1, -С. 53-55.
5. Самодурова Т.В., Андреев А.В. Исследование условий образования различных видов зимней скользкости на покрытиях автомобильных дорог // Журнал Известия ВУЗов. Строительство, 2003. –№ 5. – С. 91-96.

### References

1. Andreev A.V. Definition of transport and operational parameters of roads with asphalt concrete pavements based on slag materials // Thesis for the degree of candidate of technical sciences. Voronezh, 2005. - 206 sec.

2. Andreev A.V. Experimental studies of transport and operational parameters of roads covered with slag asphalt concrete // Scientific Journal of VGASU. Construction and architecture №3 2008. - sec. 138-143.
3. Samodurova T.V., Andreev A.V. Mathematical models and computational experiment in solving problems of winter road maintenance // Mathematics. Computer. Education. Proceedings of the 9th International Conference, Dubna, 2002. - sec. 464-469.
4. Andreev A.V., Eremin V.G. Determination of the forces of ice freezing with the surface of asphalt-concrete coatings // Scientific Herald of the All-Russian State University of Architecture and Civil Engineering, 2003. -№1, -C. 53-55.
5. Samodurova T.V., Andreev A.V. Investigation of the conditions for the formation of various types of winter slipperiness on highways // Journal of Higher Educational Institutions. Construction, 2003. –№ 5. - sec. 91-96.

УДК 621.87

*Канд. техн. наук, доц. кафедры  
строительной техники и инженерной  
механики имени профессора Н.А. Ульянова  
Р.А. Жилин  
Россия, г. Воронеж  
e-mail: razhilin@yandex.ru  
аспирант кафедры автоматизированного  
оборудования машиностроительного  
производства  
П.В. Стрункин  
Россия, г. Воронеж  
e-mail: [strunkin-1992@mail.ru](mailto:strunkin-1992@mail.ru)*

*D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the chair  
construction machinery and engineering  
mechanics of a name of professor N.A. Ulyanov  
R.A. Zhilin  
Russia, Voronezh  
e-mail: razhilin@yandex.ru  
PhD student of the pulpit of the chair  
of automated equipment of machine-building  
manufacture  
P.V. Strunkin  
Russia, Voronezh  
e-mail: [strunkin-1992@mail.ru](mailto:strunkin-1992@mail.ru)*

Р.А. Жилин, П.В. Стрункин

### **АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ**

В работе рассматриваются возможности применения плазменного напыления при использовании аддитивных технологий

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, высокотехнологичное оборудование, плазменное напыление.

R.A. Zhilin, P.V. Strunkin

### **ADDITIVE TECHNOLOGIES WITH APPLICATION OF THE PLASMA DUSTING**

In work possibilities of application of a plasma dusting are considered at use of additive technologies.

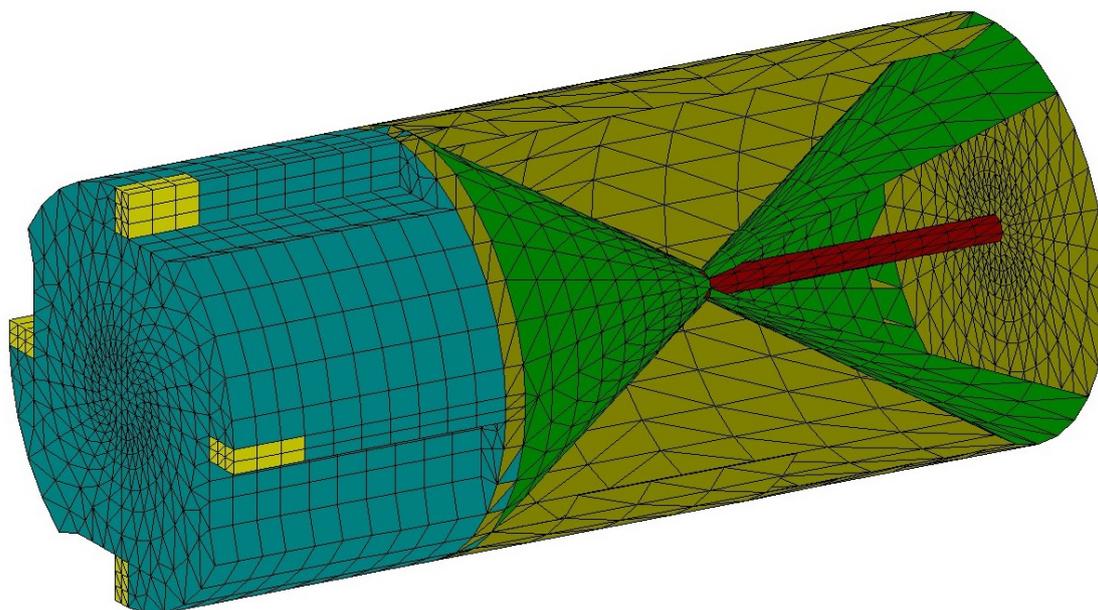
**Keywords:** additive technologies, highly technological equipment, plasma dusting.

В современном мире происходит стремительное развитие различных отраслей производства. Одной из главных задач любого производства является изготовление изделий заданного качества с наименьшими затратами ресурсов и энергии. В соответствии с этими требованиями стремительными темпами развиваются аддитивные технологии, которые находят применение в различных отраслях производства: авиастроении, ракетостроении, машиностроении, нефтехимической промышленности, производство вооружения и военной техники и др. Применение данных технологий позволяет изготавливать изделия с наименьшими затратами материалов по сравнению с обработкой материалов резанием. Данная технология позволяет изготавливать изделия оптимальной конструкции сложной геометрии, а также без применения специализированной технологической оснастки, так как на сегодняшний день для изготовления изделий в различных областях промышленности при обработке материалов резанием, применяется высоко технологичное оборудование и широкая номенклатура при-

меняемой оснастки [1]. Аддитивные технологии позволяют производить изделия из различных материалов и сплавов.

Применение аддитивных технологий с упрочнением поверхностного слоя для изготовления деталей расширяет возможность не только изготавливать детали с наименьшими затратами, но и применять широкую номенклатуру материалов с сохранением качественных характеристик изделий.

В статье [2] рассматривались различные варианты конструкции фрезы, изготовленной с помощью 3D-печати металлами. Наружный диаметр корпуса 65 мм, длина фрезы составляет 135 мм. Толщина стенки цилиндрического корпуса – 5 мм; конических ребер жесткости – 2 мм. Толщина стенки центрального внутреннего канала для подачи смазывающей охлаждающей жидкости составляет 1 мм. Один из таких вариантов представлен на рис 1.



**Рис. 1.** Конечноэлементная модель фрезы с местным разрезом в опорной части

Эквивалентные напряжения, возникающие в опорной части корпуса не превышают 20 МПа [2]. Эта величина значительно ниже допускаемых напряжений материалов, традиционно используемых для производства фрез. Таким образом, отрывается возможность использования материалов с более низкими характеристиками, но при этом вероятность механических повреждений при эксплуатации существенно возрастает. Образовывающиеся поверхностные дефекты вызывают местную концентрацию напряжений и как следствие преждевременный выход фрезы из строя. Данная проблема может быть решена подбором рационального метода поверхностного упрочнения. Трудность его выбора возникает из-за сложной геометрической формы изделия.

Наиболее распространённым методом упрочнения поверхности деталей является термическая закалка – нагрев выше критической температуры полиморфного превращения и быстрым охлаждением. Но на деталях, в конструкции которых имеются глубокие впадины, выступы, резкие переходы, острые углы и т. д., не удастся получить равномерной толщины закаленного слоя. Помимо этого, в закаленных деталях могут возникать внутренние напряжения, что может вызвать искажение и коробление как наружной поверхности, так и внутренних элементов детали.

Рассматриваемая конструкция как раз характеризуется перечисленными конструктивными особенностями, поэтому использование закалки в данном случае нежелательно. Для решения данной проблемы может быть использован метод упрочнения поверхностного слоя путём нанесения покрытия с помощью плазменного напыления.

Данная технология заключается в подаче материала в высокотемпературной плазменной струе, который нагревается до определенной температуры, затем плавится и наносится на поверхность. Поток плазмы характеризуется следующими показателями: температура в ядре (20000–30000 К, скорость струи – 300–2000 м/с) [3]. Данный метод напыления дает возможность получить упрочнённый поверхностный слой от 0,2 до 6,5мм, наносить покрытия равномерно из различных материалов. Так же при плазменном напылении не происходит негативных термических воздействий из-за кратковременного контакта плазменной струи с поверхностным слоем, в следствии чего не возникают внутренние напряжения, в изделия которые могут привести к деформации изделия.

### Вывод

Изготовление изделий с применением аддитивных технологий и упрочнением поверхности плазменным напылением позволит изготавливать изделия:

1. Сложной геометрической формы, без технологических ограничений.
2. Изготавливать изделия с экономией материала.
3. Без дополнительных затрат на технологическую оснастку.
4. Применять для изготовления более дешёвые материалы.

### Библиографический список

1. Krasnova M.N., Zhilin R.A., Strunkin P.V. Manufacturing of products with application technologies // International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration», Part 2, March 26, 2019. Beijing, PRC, With. 167–174.
2. Жилин Р.А., Краснова М.Н., Стрункин П.В. Аддитивные технологии в инструментальном производстве // Высокие технологии в строительном комплексе, 2019. № 1. С. 110–115.
3. Трифонов Г. И., Жачкин С. Ю. Уменьшение абразивного износа у деталей машин с помощью плазменного напыления порошковых материалов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 39. – С. 2036–2040. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/970734.htm>.

### References

1. Krasnova M.N., Zhilin R.A., Strunkin P.V. Manufacturing of products with application technologies // International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration», Part 2, March 26, 2019. Beijing, PRC, With. 167–174.
2. Zhilin R. A, Krasnova M. N, Strunkin P.V. Additivnye of technology in tool manufacture//High technologies in a building complex, 2019. № 1. With. 110-115.
3. Trifonov G. I, Zhachkin S. Yu. Reduction of abrasive deterioration at details of cars by means of a plasma dusting of powder materials//Scientifically-methodical electronic magazine "Концепт". - 2017. - Т. 39. - With. 2036-2040. - URL: <http://e-koncept.ru/2017/970734.htm>.

УДК 628.4

*Ярославский государственный  
технический университет  
Докт. техн. наук, профессор кафедры  
«Охрана труда и природы» В.М. Макаров  
Канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Охрана труда и природы»  
С.З. Калаева  
Канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Охрана труда и природы»  
Н.Л. Маркелова  
Студент 3 курса Р.Э. Калаев  
Россия, г. Ярославль, тел. +7(4852) 44-68-13  
e-mail: [makarovvm@ystu.ru](mailto:makarovvm@ystu.ru)*

*Yaroslavl State Technical University  
Doct. tech. Professor of the Department of la-  
bor And nature protection  
V. M. Makarov  
Cand. tech. associate Professor of the De-  
partment of labor and nature Protection  
S.Z. Kalaeva  
Cand. tech. associate Professor of the De-  
partment of labor and nature Protection  
N.L. Markelova  
3rd year student R.E. Kalaev  
Yaroslavl, Russia, tel. +7 (4852) 44-68-13  
e-mail: [makarovvm@ystu.ru](mailto:makarovvm@ystu.ru)*

Р.Э. Калаев, В.М. Макаров, С.З. Калаева, Н.Л. Маркелова

## **ПОЛУЧЕНИЕ МАГНЕТИТА ИЗ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЫЛИ И ОСАДКА СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ**

Рассмотрены способы получения магнетита из металлургической пыли и осадков гидроксида железа, выделенного из подземных вод на станциях обезжелезивания воды высокотемпературным восстановлением отходами технического углерода.

**Ключевые слова:** металлургическая пыль, гидроксид железа станций обезжелезивания, отходы технического углерода, высокотемпературное восстановление, магнетит, адсорбция тяжелых металлов.

R.E. Kalaev, V.M. Makarov, S.Z. Kalaeva, N.L. Markelova

## **OBTAINING MAGNETITE FROM METALLURGICAL DUST AND SEDIMENT OF WATER DE-IRONIZATION STATIONS**

Methods of obtaining magnetite from metallurgical dust and precipitation of iron hydroxide extracted from underground water at water de-ironization stations by high-temperature reduction of carbon black waste are considered.

**Keywords:** metallurgical dust, iron hydroxide for de-ironizing, carbon black waste, high-temperature reduction, magnetite, adsorption of heavy metals.

Известно, что залежи природного магнетита близки к исчерпанию [1], поэтому получение синтетического магнетита является актуальной задачей, которую решают различными способами [2,3,4]. Нами предлагается получение магнетита высокотемпературным восстановлением металлургической пыли и гидроксида трехвалентного железа, образующегося на станциях обезжелезивания воды, с применением в качестве восстановителя отходов технического углерода (коды отхода по ФККО: код 3.12.112.91.29.3 «Смет углерода технического»; код 3.31.055.12.40.4 «Отход технического углерода при его подготовке для производства резиновых смесей»; код 3.31.713.11.42.4 «Пыль технического углерода при газоочистке в производстве резиновых смесей» [5].)

Состав металлургической пыли представлен в таблице 1.

Таблица 1

Содержание основных элементов в металлургической пыли в пересчете на оксиды

Элементы	Железо общее	Марганец	Влага	Медь	Нефтепродукты		Алюминий
Содержание, %	55,360	0,108	0,740	0,117	0,380		0,380
Элементы	Кремний	Кальций	Магний	Сера	Фосфор	Хром	Цинк
Содержание, %	1,900	2,020	1,210	0,392	0,125	0,118	1,320

Металлургическая пыль является крупнотоннажным отходом и также включена в ФККО: код 3.51.222.21.42.4 «Пыль газоочистки выбросов электросталеплавильной печи», код 3.51.222.22.42.4 «Пыль аспирации электросталеплавильного производства».

Состав осадка станции обезжелезивания воды приведен в таблице 2.

Таблица 2

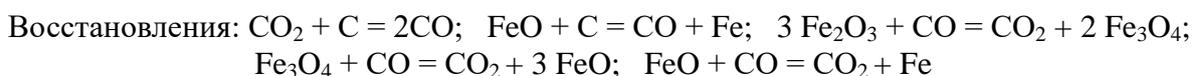
Состав осадка станции обезжелезивания воды аэрацией

Оксиды	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	ZnO	CuO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO
Массовая доля, %	67,20	9,35	8,60	4,30	7,85	0,30	1,55	0,85

В бисерной мельнице готовилась композиция железосодержащих отходов, восстановителя и карбоната натрия для создания при прокаливании инертной среды углекислого газа. Соотношение смешиваемых компонентов 1 : 0,5 : 0,3. Полученный композит загружался в «холодную» прокалочную печь, нагревался до температуры 900 °С и выдерживался при этой температуре 1 час (режим прокаливания был оптимизирован по величине намагниченности насыщения полученного магнетита). После прокаливания тигель со смесью удалялся из печи и помещался в эксикатор до полного остывания.

Атомы растворенного углерода могут располагаться в глубине кристаллической решетки Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (объемная диффузия), вдоль граней кристаллов (с внутренней стороны) и вдоль граней кристалла с внешней стороны (поверхностная диффузия) [6]. Атомный радиус углерода (0,077 нм) меньше атомного радиуса железа (0,126 нм), и кратчайшее расстояние между ядрами соседних атомов 0,249 нм с ионным типом химических связей способствуют процессу диффузии углерода. Металлургическая пыль и осадок станций обезжелезивания воды содержит в своем составе γ- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, кристаллизующийся в кубической решетке с параметром α=0,832 нм, и имеющий в ней вакантные узлы, принадлежащие железу. При высокотемпературном воздействии это облегчает диффузию восстановителя – атомов углерода и протекание реакций с образованием магнетита Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, который также образует с Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> твердые растворы.

Описанный механизм может быть проиллюстрирован следующими реакциями:



Для преимущественного получения магнетита экспериментально был подобран режим прокаливания смеси металлургической пыли и осадка станций обезжелезивания воды с восстановителем и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> постепенным подъемом температуры от комнатной до 900°С, что

обычно можно реализовать в 3-х зонной прокалочной вращающейся печи. Рост температуры до 900°C происходит за 50 минут.

Полученный материал идентифицировался как магнетит рентгенографически. В таблице 3 приведены характеристические градусы и интенсивность пиков рентгеновской спектроскопии, которые отражают факт получения магнетита.

Таблица 3

Дифрактометрическая идентификация прокаленной смеси металлургической пыли и отхода технического углерода\*

№ п/п	Градус на оси абсцисс	вещество	Химическая формула	Относительная высота пиков рентгенограммы
1	17,962	магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	9,91
2	29,579	магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	28,54
3	34,842	магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	100,00
4	36,452	магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	7,88
5	42,321	магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	22,11
6	52,500	магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	6,87
7	55,958	магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	25,41
8	61,442	магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	29,35
9	72,650	магнетит	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	3,99

\*анализ выполнен в ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Санкт-Петербургского государственного университета с помощью настольного порошкового дифрактометра «Bruker D2 Phaser» с кобальтовым анодом.

На вибрационном магнитометре кафедры физики Ярославского государственного технического университета доцентом Захаровой И. Н. была определена намагниченность насыщения магнетита, полученного из металлургической пыли и осадка станции обезжелезивания воды. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

Намагниченность насыщения образцов, отобранных из 10-и партий магнетита

Номер партии	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Намагниченность насыщения, кА/м									
Из металлургической пыли	400,20	401,13	405,20	407,10	402,30	400,10	430,00	405,20	407,80	403,50
Из осадка станций обезжелезивания	403,10	404,20	406,10	406,20	403,10	401,20	403,20	406,10	407,90	405,50

Из таблицы 4 видно, что большинство величин намагниченности насыщения магнетита, полученного из осадков станций обезжелезивания воды, превосходят намагниченность насыщения магнетита из металлургической пыли. Это можно объяснить меньшим содержанием в последнем Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Намагниченность насыщения природного магнетита 406,80 – 409,50 кА/м.

То есть полученные магнетиты приближаются по величине намагниченности насыщения к природному магнетиту.

Одним из рекомендуемых направлений использования полученного магнетита является очистка промывных сточных вод гальванических участков от ионов тяжелых металлов, в частности, от наиболее распространенного загрязнителя – ионов цинка. Для экспериментов использовалась промывная сточная вода от операций цинкования одного из Ярославских машиностроительных заводов с концентрацией  $Zn^{2+}$  30 мг/дм<sup>3</sup>, которая в смесителе обрабатывалась порошком магнетита, измельченного и просеянного через сито 63 мкм. Число оборотов мешалки подбиралось таким образом, чтобы добавленный магнетит мгновенно распределялся по объему прозрачной смесительной камеры при соотношении концентрации иона цинка : магнетит, как 1 : 10. Время перемешивания не превышало 15 минут. Далее суспензия поступала в отстойник, дно которого снаружи было выложено постоянными магнитами, за счет чего магнетит с адсорбированными ионами цинка интенсивно оседал, давая возможность сократить длину отстойника.

В кристаллах оксида железа имеется разветвленная сеть тонких пор при размерах доменов порядка 10 нм [7]. Это траектории, по которым ионы тяжелых металлов диффундируют в глубину частиц магнетита и занимают положения дефектов и дислокаций в его структуре, что связано с протеканием твердофазных реакций. Поэтому магнетит легко включает ионы цинка в свою структуру, благодаря энергетически выгодному изоморфному замещению (смешанные кристаллы) двухвалентными металлами мест в подрешетке, обычно занятых  $Fe^{2+}$ .

Вода на выходе из отстойника была проанализирована на содержание  $Zn^{2+}$ , результаты указаны в таблице 5.

Таблица 5

Результаты очистки воды от  $Zn^{2+}$  магнетитами двух типов

Число опытов	1	2	3	4	5	6
	Конечная концентрация $Zn^{2+}$ после отстаивания суспензии, мг/дм <sup>3</sup>					
Магнетит на основе металлургической пыли	0,48	0,42	0,42	0,41	0,43	0,44
Магнетит на основе осадка станции обезжелезивания воды	0,39	0,41	0,39	0,38	0,37	0,39

### Выводы

1. Из таблицы 5 видно, что все опыты показали остаточные концентрации  $Zn^{2+}$  меньше по величине допустимых концентраций для сброса воды в канализацию завода (0,5 мг/дм<sup>3</sup>);
2. Степень очистки составляет более 98%;
3. Магнетит, полученный из осадка станций обезжелезивания воды, показал несколько более эффективную адсорбцию  $Zn^{2+}$ .

Как показали дальнейшие исследования высушенный и доизмельченный магнетит с адсорбированными ионами цинка может быть использован как эффективный антикоррозионный пигмент.

## Библиографический список

1. Минералогическая энциклопедия / Под редакцией К. Фрея: перевод с английского – Л.: Издательство «Недра», 1985.-512с.
2. Калаева С.З. О возможности использования гальваношламов при изготовлении магнитных жидкостей / С.З. Калаева, В.М. Макаров, А.М. Шипилин // Известия ВУЗов «Химия и химическая технология», Том 45, выпуск 7, 2002.- с. 66-67.
3. Калаева С.З. Способ получения магнитной жидкости из железосодержащих отходов производства / С.З. Калаева, В.М. Макаров, А.М. Шипилин // Известия ВУЗов «Химия и химическая технология», Том 45, выпуск 7, 2002.- с. 45-47.
4. Калаева С.З. Магнитные жидкости из отходов производства / С.З. Калаева, В.М. Макаров, А.М. Шипилин // Экология и промышленность России, сентябрь 2002.- с.15-16.
5. Приказ Росприроднадзора от 18.07.2014 №445 « Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов».
6. Будников П.П. Реакции в смесях твердых веществ.- М.: Стройиздат, 1971.-487с.
7. Водянский Ю.Н., Добровольский В.В. Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах.- М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 1998.-216с.

## References

1. Mineralogical encyclopedia / Edited by K. Frey: translated from English-L.: Nedra Publishing house, 1985. – 512sec.
2. Kalayeva S. Z. About the possibility of using electroplating sludge in the manufacture of magnetic liquids / S. Z. Kalaeva, V. M. Makarov, A.M. Shipilin // Izvestiya Vuzov "Chemistry and chemical technology", Volume 45, issue 7, 2002. - sec. 66-67.
3. Kalaeva S. Z. Method for obtaining magnetic liquid from iron-containing waste products / S. Z. Kalaeva. V. M. Makarov, A.M. Shipilin // Izvestiya Vuzov "Chemistry and chemical technology", Volume 45, issue 7, 2002. - sec. 45-47.
4. Kalaeva S. Z. Magnetic liquids from production waste / S. Z. Kalaeva, V. M. Makarov, A.M. Shipilin // Ecology and industry of Russia, September 2002, sec. 15-16.
5. Rosprirodnadzor Order No. 445 dated 18.07.2014 "On approval of the Federal classification catalog of waste".
6. Budnikov P. P. Reactions in mixtures of solid substances. - Moscow: Stroizdat, 1971. - 487s.
7. Vodyansky Yu. N., Dobrovolsky V. V. Ferrous minerals and heavy metals in soils.- М.: V. V. Dokuchaev Soil Institute RASKHN, 1998. - 216 sec.

*Воронежский государственный  
технический университет*

*Студент кафедры теплогазоснабжения и  
нефтегазового дела*

*Е. А. Лобова*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(920)-44-77-202*

*e-mail: lena.lobova.98@mail.ru*

*Магистрант кафедры теплогазоснабже-  
ния и нефтегазового дела*

*О.Ю. Ильин*

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

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

*Магистрант кафедры теплогазоснабже-  
ния и нефтегазового дела*

*А.Г. Ляхнович*

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

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

*Магистрант кафедры теплогазоснабжения  
и нефтегазового дела*

*Д.Е. Чебуланкин*

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

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

*Voronezh State*

*Technical University*

*Student of Department of Heat and Gas Supply  
and Oil and Gas Business*

*E.A. Lobova*

*Russia, Voronezh, tel. +7 (920)-44-77-202*

*e-mail: lena.lobova.98@mail.ru*

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

*O.Yu. Ilyin*

*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*

*A.G. Lyakhnovich*

*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*

*D.E. Chebulankin*

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

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

Е.А. Лобова, О.Ю. Ильин, А.Г. Ляхнович, Д.Е. Чебуланкин

### **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФИКА ТЕПЛОЙ СЕТИ НА МАТЕРИАЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ**

Рассмотрены три варианта трассы тепловой сети. Для каждого вариан-та выполнен гидравлический расчет. На основе минимума значения матери-альной характеристики выявлена наиболее целесообразная схема. Рассмотр-ено влияние температурного графика тепловой сети на значение матери-альной характеристики.

**Ключевые слова:** тепловые сети, проектирование, критерии оптимальности проекта, мате-риальная характеристика, температурный график.

E.A. Lobova, O.Yu. Ilyin, A.G. Lyakhnovich, D.E. Chebulankin

### **INFLUENCE OF TEMPERATURE GRAPHICS OF THE HEAT NETWORK ON MATERIAL CHARACTERISTIC**

Three options of the route of the heating network of the industrial enterprise are considered. For each option, a hydraulic calculation has been performed. Based on the minimum value of the material characteristics, the most appropriate scheme has been identified. The influence of the temperature graph of the heat network on the value of the material characteristic is considered.

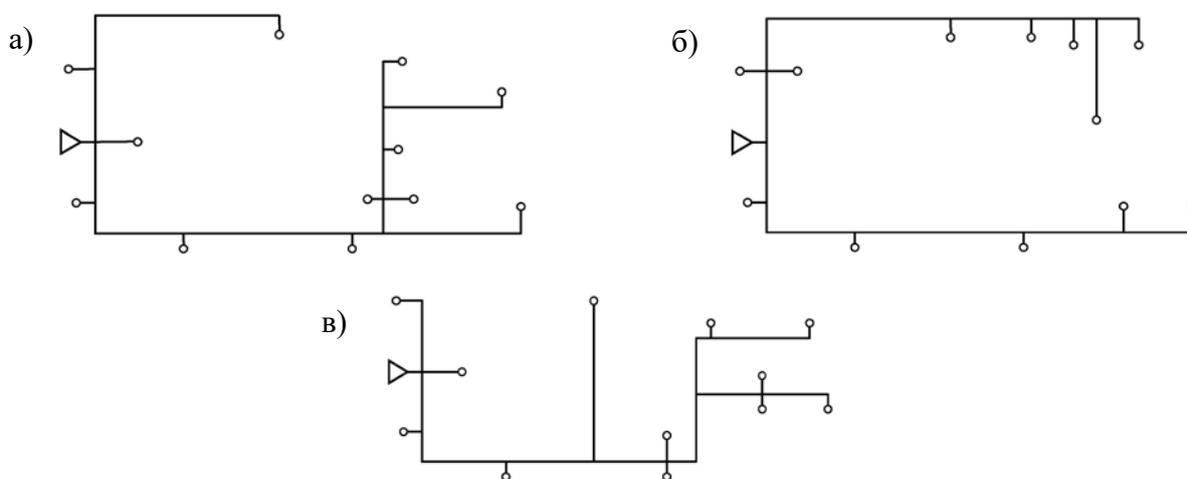
**Keywords:** heating networks, design, project optimality criteria, material characteristics, tempera-  
ture schedule.

Тепловые сети представляют собой комплекс трубопроводов, арматуры, устройств компенсации температурных деформаций, строительных конструкций, включая повысительные насосные станции и центральные тепловые пункты, представляющие собой одноэтажные здания промышленного назначения. При проектировании тепловых сетей необходимо нанести трассу на существующую местность. При выполнении трассировки стараются следовать определенным рекомендациям[1,2]. Выполнение всех нормативных требований может не обеспечить минимальные значения капитальных вложений в строительство тепловой сети[3,7,10]. Критериям оптимальности проекта тепловой сети занимались на протяжении развития всей энергетики. Для оценки оптимальности варианта предложены такие критерии как удельные капиталовложения, материальная характеристика, критерий тепловых потерь, надежность и др.[8,12,13].

Рассмотрение практических примеров поиска оптимальной конфигурации тепловой сети является важной задачей.

В статье рассматривается практическое применение материальной характеристики для определения наиболее оптимального варианта трассировки. На примере конкретного объекта рассмотрено влияние на материальную характеристику и потери напора в тепловой сети температурного графика[4,6].

Задача состоит в определении оптимальной трассы промплощадки, состоящей из 12 зданий различного назначения. Тепловые нагрузки зданий являются заданными величинами[5,11]. Регулирование тепловой мощности осуществляется качественно по отопительной тепловой нагрузке с температурным графиком 105/70[9,14]. На рисунке 1 представлены три рассматриваемые схемы тепловой сети. Треугольником на схемах обозначено место установки котельной, а потребители теплоты изображены окружностями. Варианты трассировки были сформированы с учетом действующих СП, и других рекомендаций, а также с учетом дорожной сети территории завода и проложенных коммуникаций.



**Рис. 1.** Рассматриваемые варианты тепловой сети  
а) схема 1; б) схема 2; в) схема 3

По известным расходам теплоты были найдены расходы воды в сети и проведен гидравлический расчет для всех конфигураций сети.

Материальная характеристика сети определялась по формуле

$$M = \sum_{i=1}^n D_{ni} l_i, \quad (1)$$

где  $D_{ni}$  - наружный диаметр участка сети, м;

$l_i$  - длина участка сети, м;

$n$  - количество участков.

Потери напора по расчетной магистрали определялись по формуле

$$\Delta H = 10^{-3} \sum_{i=1}^n l_{ni} R_{li}, \quad (2)$$

где  $l_{ni}$  - приведенная длина участка сети, м;  
 $R_{li}$  - удельные потери напора участка сети, Па/м;  
 $n$  – количество участков расчетной магистрали.

Были проведены расчеты для температурных графиков 105/70, 130/70 и 150/70. На рисунке 2 представлены результаты расчетов материальной характеристики для всех вариантов схем трубопроводов и рассматриваемых температурных графиков.

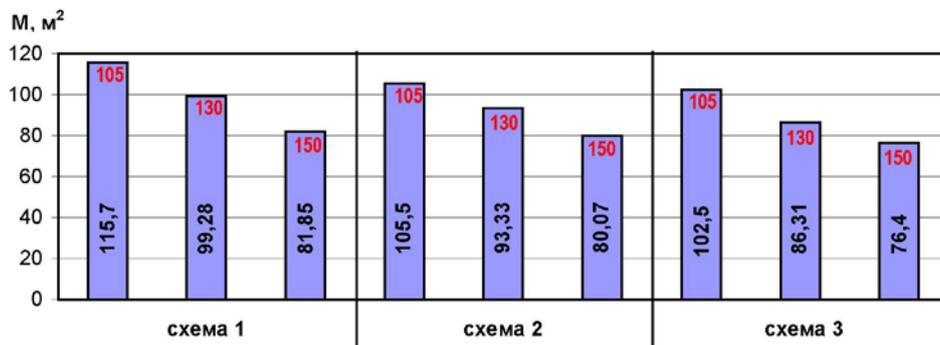


Рис. 2. Значения материальной характеристики М

Из рисунка 2 следует, что при всех температурных графиках минимальное значение материальной характеристики наблюдается в схеме 3, которая с этой точки зрения является оптимальной.

На рисунке 3 представлена зависимость материальной характеристики от значения температуры воды в подающей магистрали сети. Из рисунка 3 следует, что с увеличением температуры  $\tau_1$  уменьшается значение материальной характеристики. Характер зависимости  $M = f(\tau_1)$  близок к линейной.

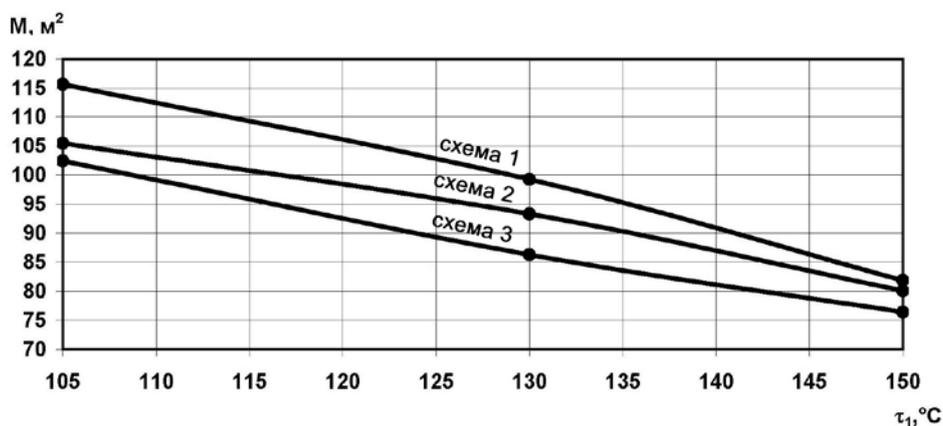


Рис.3. Зависимость материальной характеристики М от температурного графика

Важным параметром являются потери напора, т.к они фигурируют в формуле выбора напора сетевого насоса и мощности его привода. Чем выше мощность электродвигателя, тем больше затраты электроэнергии при эксплуатации сети. На рисунке 4 представлены зависимости потерь напора от температурного графика сети.

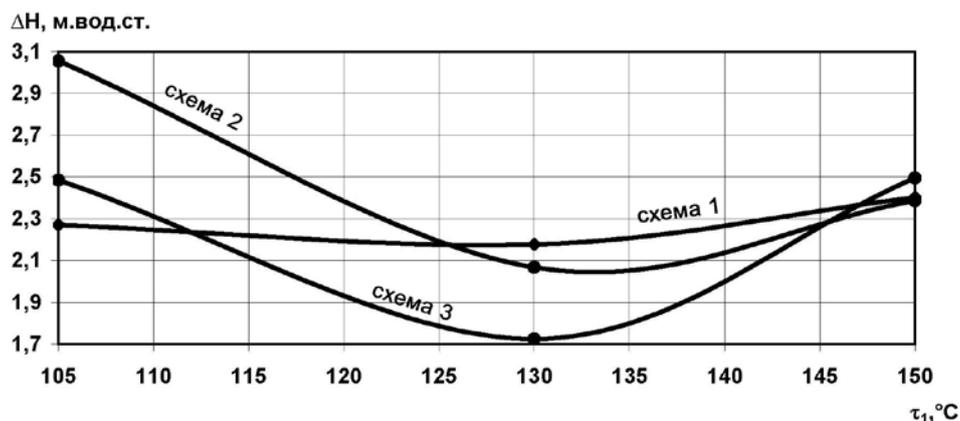


Рис.4. Зависимость потерь напора  $\Delta H$  от температурного графика

Из рис. 4 следует, что при температурном графике 105/70 минимальные значения потерь напора наблюдаются в схеме 1 сети, при 130/70 – в схеме 3, при 150/70 – в схеме 2. При значении температуры в сети 130 °С для всех схем наблюдается минимальное значение потерь.

В результате для первого варианта при заданном температурном графике получается минимальная материальная характеристика, но потери напора не оптимальны. Разница значений потерь напора для схемы 1 и схемы 3 составляет 0,214 м.вод.ст., что является не значительным. При выборе сетевого насоса определяющими величинами будут потери в котельной и сопротивление абонента, т.е. разница в 0,214 м.вод.ст. не повлияет на мощность привода насоса. В итоге схема 3 принята на основную.

#### Выводы

1. Рассмотрены варианты трассы тепловой сети промпредприятия. Для каждого варианта определены значения материальной характеристики и потерь напора.
2. По минимальному значению материальной характеристики определен наиболее экономичный вариант проекта тепловой сети.
3. Рассмотрено влияние температурного графика тепловой сети на материальную характеристику и потери напора. Определена тенденция уменьшения материальной характеристики сети при увеличении проектной температуры воды в подающей магистрали тепловой сети, имеющая линейный характер.

#### Библиографический список

1. Практическое применение энергосберегающих технологий: учебное пособие / Д.Н. Китаев, П. Новаковски, Э.В. Сазонов и др.; под общ. ред. В.Н. Семенова и Н.С. Попова. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2014. – 193 с.
2. Каширин, М.А. Выбор оптимальной трассы тепловых сетей промпредприятия / М.А. Каширин, Д.Н. Китаев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. - №2(11). – С. 9-12.
3. Китаев, Д.Н. Развитие системы теплоснабжения городского округа город Воронеж в долгосрочной перспективе / Д.Н. Китаев // Инженерные системы и сооружения. – 2010. - №2. – С. 72 – 77.
4. Китаев, Д.Н. Погрешность расчета температурного графика тепловой сети при использовании показателей отопительных приборов / Д.Н. Китаев // Промышленная энергетика. – 2013. - №7. – С. 34-37.

5. Китаев, Д.Н. Расчет фактического теплопотребления промплощадки / Д.Н. Китаев, Т.В. Щукина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. - №3(8). С. 40-45.
6. Китаев, Д.Н. Расчет температуры наружного воздуха в точке излома температурного графика / Д.Н. Китаев // Новости теплоснабжения. – 2012. - №10. – С. 46-48.
7. 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.
8. Китаев, Д.Н. Температурные графики тепловых сетей в условиях г.Воронеж / Д.Н. Китаев, И.Ю. Фильшина // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2019. - №1. – С. 78-83.
9. Китаев, Д.Н. Температурный режим в магистральных стальных трубопроводах горячего водоснабжения при нарушениях циркуляции / Д.Н. Китаев, В.Ю. Хузин, В.И. Щербаков, Т.В. Щукина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. - №3(699). – С. 62-68.
10. Китаев, Д.Н. Охлаждение воды в трубопроводах системы горячего водоснабжения при отсутствии циркуляции / Д.Н. Китаев, В.Ю. Хузин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. - №1(6). – С. 9-13.
11. Мартыненко, Г.Н. Перспективы развития системы газоснабжения городского округа г.Воронеж на период 2035г. / Г.Н. Мартыненко, Д.Н. Китаев // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. - №3(51). – С. 11-21.
12. Мелькумов, В.Н. Выбор математической модели трасс тепловых сетей / В. Н. Мелькумов, И. С. Кузнецов, В. Н. Кобелев / Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2011. - №2(22). – С. 36.
13. Семенов, В.Н. Влияние энергосберегающих технологий на развитие тепловых сетей / В.Н. Семенов, Э.В. Сазонов, Д.Н. Китаев, О.В. Тертичный, Т.В. Щукина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. - №8(656). – С. 78-83.
14. 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.

#### References

1. The practical application of energy-saving technologies: a training manual / D.N. Kitaev, P. Novakovsky, E.V. Sazonov and others; under the general. ed. V.N. Semenova and N.S. Popova. - Tambov: Publishing House Pershina R.V., 2014. -- 193 p.
2. Kashirin, M.A. The choice of the optimal route of industrial heating networks / M.A. Kashirin, D.N. Kitaev // Urban planning. Infrastructure. Communications. - 2018. - No. 2 (11). - P. 9-12.
3. Kitaev, D.N. The development of the heat supply system of the urban district of the city of Voronezh in the long term / D.N. Kitaev // Engineering systems and structures. - 2010. - No. 2. - P. 72 - 77.
4. Kitaev, D.N. The error in calculating the temperature graph of the heating network when using indicators of heating devices / D.N. Kitaev // Industrial energy. - 2013. - No. 7. - P. 34-37.
5. Kitaev, D.N. Calculation of actual heat consumption of the industrial site / D.N. Kitaev, T.V. Schukina // Urban planning. Infrastructure. Communications. - 2017. - No. 3 (8). P. 40-45.
6. Kitaev, D.N. Calculation of outdoor temperature at the break point of the temperature graph / D.N. Kitaev // News of heat supply. - 2012. - No. 10. - P. 46-48.
7. Kitaev, D.N. Perspective schemes of using cogeneration units in heat supply systems / D.N. Kitaev, A.V. Zolotarev, N.S. Sixth // Scientific journal. Engineering systems and facilities. - 2012. - No. 2 (7). - P. 26 - 29.

8. Kitaev, D.N. Temperature graphs of heating networks in the conditions of Voronezh / D.N. Kitaev, I.Yu. Filshina // High Technologies in the Construction Complex. - 2019. - No. 1. - P. 78-83.
9. Kitaev, D.N. The temperature regime in the main steel pipelines of hot water supply in case of circulatory disturbances / D.N. Kitaev, V.Yu. Khuzin, V.I. Shcherbakov, T.V. Schukina // News of higher educational institutions. Building. - 2017. - No. 3 (699). - P. 62-68.
10. Kitaev, D.N. Water cooling in pipelines of a hot water supply system in the absence of circulation / D.N. Kitaev, V.Yu. Khuzin // Urban planning. Infrastructure. Communications. - 2017. - No. 1 (6). - P. 9-13.
11. Martynenko, G.N. Prospects for the development of the gas supply system of the urban district of Voronezh for the period 2035 / G.N. Martynenko, D.N. Kitaev // Scientific journal of construction and architecture. - 2018. - No. 3 (51). - P. 11-21.
12. Melkumov, V.N. Choice of a mathematical model of heat network routes / V.N. Melkumov, I.S. Kuznetsov, V.N. Construction and architecture. - 2011. - No. 2 (22). - P. 36.
13. Semenov, V.N. The influence of energy-saving technologies on the development of heating networks / V.N. Semenov, E.V. Sazonov, D.N. Kitaev, O.V. Tertichny, T.V. Schukina // News of higher educational institutions. Building. - 2013. - No. 8 (656). - P. 78-83.
14. Chernykh, E.M. A 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. - T.3. - No. 6. - P. 124-128.

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

*Канд. техн. наук, доц. кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин» А.А. Пегачков*

*Россия, г. Москва, тел. +7 (926) 596-77-18  
e-mail: [pegachkov@yandex.ru](mailto:pegachkov@yandex.ru)*

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

*Магистрант, гр. 2мПР*

*Кафедры ПРАДМ И.М. Кузовков*

*Россия, г. Москва, тел. +7 (929) 574-88-09  
e-mail: [kuzovkoffi@yandex.ru](mailto:kuzovkoffi@yandex.ru)*

*Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*

*Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor at the Department of PRCRV A.A. Pegachkov*

*Russia, Moscow, tel. +7 (926) 596-77-18  
e-mail: [pegachkov@yandex.ru](mailto:pegachkov@yandex.ru)*

*Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*

*A Masters student, gr. 2mPR*

*Department of PRCRV I.M. Kuzovkov*

*Russia, Moscow, tel. +7 (929) 574-88-09  
e-mail: [kuzovkoffi@yandex.ru](mailto:kuzovkoffi@yandex.ru)*

А.А. Пегачков, И.М. Кузовков

## УДАЛЕННАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В работе рассмотрены вопросы, связанные с оценкой технического состояния ДВС с помощью удаленного сбора информации о состоянии ряда диагностических параметров. Метод удаленного технического диагностирования тепловых параметров, не требующий разборки двигателя, зарекомендовал себя как универсальный и оперативный, позволяющий комплексно оценить состояние как бензинового, так и дизельного ДВС. Работа посвящена определению и оценке влияния тепловых параметров ДВС на его техническое состояние в процессе эксплуатации.

**Ключевые слова:** диагностирование, двигатель внутреннего сгорания, параметры, температура охлаждающей жидкости, температура выхлопных газов, давление масла.

A.A. Pegachkov, I.M. Kuzovkov

The paper considers issues related to the assessment of the technical condition of internal combustion engines using remote collection of information about the state of a number of diagnostic parameters in order to improve the quality of diagnosis. The method of remote technical diagnostics of thermal parameters, which does not require disassembling the engine, has established itself as universal and operational, allowing a comprehensive assessment of the state of both gasoline and diesel ICEs. The paper investigates the determination and assessment of the influence of the thermal parameters of the internal combustion engine on its technical condition during operation.

**Keywords:** diagnostics, internal combustion engine, coolant temperature, exhaust gas temperature, oil pressure.

## Введение

Принцип работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) основан на эффекте теплового расширения газов, возникающего при воспламенении топливовоздушной смеси.

Отметим, что дизельный двигатель достигает большой термодинамической эффективности, как правило, большей, чем у бензиновых двигателей.

Поэтому, нами для проведения исследований, был выбран дизельный двигатель TCD 2012 L04 2V с системой DEUTZ Common Rail (DCR), используемый в дорожной и строительной технике.

Данный двигатель устанавливают различной на колёсных и гусеничных экскаваторах SDLG LG6300F, LG6210F; UMG E140WG, E145WG; асфальтоукладчиках Bomag BF 691C Volvo ABG 720 и т.д.

Отметим, что данной линейке двигателей с турбонаддувом реализованы такие инновационные решения, как система прямого впрыска, а также адаптивная система управления выходными параметрами ДВС, силовым агрегатом с возможностью адаптации используемых настроек системой охлаждения воздуха, системой водяного охлаждения.

Для выявления и предотвращения неисправностей в работе ДВС необходимо проводить периодическое техническое обслуживание и диагностирование. В условиях большого количества транспортных средств и ограниченного времени на их обслуживание наибольшую ценность представляют те методы диагностирования, которые просты в реализации, позволяют быстро оценить техническое состояние двигателя внутреннего сгорания и, в то же время, обладают достаточной информативностью и чувствительностью. К числу данных методов относятся удаленные методы диагностирования технического состояния.

Так как тепловые параметры работы ДВС напрямую связаны с их техническим состоянием [1], применение тепловых параметров, получаемых удаленной диагностической системой от двигателя внутреннего сгорания, является актуальной задачей и темой для проведения дальнейших исследований. Кроме того, в данной работе мы хотели бы расширить список собираемых удаленно диагностических данных еще одним показателем - давлением масла в ДВС, который, хоть и не является тепловым параметром, тем не менее, является фактором, оказывающим значительное влияние на тепловые параметры ДВС [2]. Так, пониженное давление масла может являться причиной перегрева, поскольку конструктивно роль масла состоит не только в снижении износа деталей масляного насоса, коренных и шатунных подшипников коленчатого вала, подшипников распределительных валов и турбины, но и процессах теплообмена.

### Основные тепловые параметры двигателя внутреннего сгорания

К числу основных тепловых параметров двигателей внутреннего сгорания относятся температура охлаждающей жидкости, температура выхлопных газов. Рассмотрим их более подробно.

#### 1. Температура охлаждающей жидкости.

Данный параметр служит для того, чтобы компенсировать постоянный перегрев ДВС, система охлаждения основана на циркуляции между радиатором и мотором антифриза или тосола.

Температура ОЖ влияет на такие параметры работоспособности как:

- Функциональная работоспособность (определяется устойчивостью, временем регулирования, достижимостью, параметрической грубостью и другими свойствами, отражающими точность и динамику управления), т.е. является прочностью.

- Эксплуатационная работоспособность (определяется свойствами: надёжность, живучесть, безопасность, эффективность), т.е. является износостойкостью и теплостойкостью.

Данный параметр был рассмотрен в работах [2, 3]. Наиболее подробно, оценка влияния данного параметра приведена в работе Павлова А.А. [3], где автор подробно раскрыл вопросы гидродинамики течения жидкости в системе охлаждения, с целью улучшения температурного состояния теплонапряженных деталей.

Кроме того, автор провел дополнительные исследования гидродинамики течения жидкости в системе охлаждения ДВС, по результатам которых пришёл к выводу, что рациональное распределение потоков жидкости, локальных скоростей и направлений потоков ОЖ приводит к уменьшению максимальных температур охлаждаемых деталей.

## 2. Температура отработавших газов.

Отметим, что температура отработавших газов имеет прямое влияние на КПД. Теоретически, отработавшие газы необходимо отводить из головки цилиндра кратчайшим путем, так как переданная ей их теплота заметно нагружает систему охлаждения и для ее отвода в окружающий воздух требуется использование части эффективной мощности двигателя.

С другой стороны, в современных двигателях устанавливаются каталитические нейтрализаторы, для работы которых должна поддерживаться определенная температура выхлопа.

Поэтому, можно сделать вывод, о том, что отклонение данного параметра от рекомендованных значений, скорее всего, приведет к снижению ресурса либо к выходу двигателя из строя.

При этом, в процессе эксплуатации двигатель перестанет соответствовать экологическим требованиям.

Отметим, что температура отработавших газов также связана с параметрами сгорания рабочей смеси.

Стехиометрическая горючая смесь — смесь окислителя и горючего, в которой окислителя ровно столько, сколько необходимо для полного окисления горючего.

Для характеристики того, насколько отличаются реальные показатели топливовоздушной смеси от теоретического или стехиометрического отношения вводится коэффициент избытка воздуха (лямбда). Коэффициент избытка воздуха показывает отношение массы введенного в цилиндр воздуха к требуемой при стехиометрическом сгорании для данной массы топлива:

$$\lambda = \text{масса воздуха} / (\text{масса топлива} * \text{стехиометрический коэффициент})$$

$\lambda = 1$ : введенное в цилиндр количество воздуха соответствует теоретически необходимому для сгорания всего топлива.

$\lambda < 1$ : имеется недостаток воздуха, соответственно смесь — богатая.

$\lambda > 1$ : имеется избыток воздуха, соответственно смесь — бедная.

В наиболее совершенных двигателях с хорошо отрегулированной топливной аппаратурой коэффициент избытка воздуха, соответствующий пределу допустимого дымления, находится в пределах 1,3 до 3,4 [4].

Данный параметр был исследован в работах [5, 6, 7]. Так, в статье Сексенбаева Р. Б. [7], где автор изучал реакции горения газа и их связь со стехиометрическим соотношением, главным выводом являлось то, что температура и стехиометрический коэффициент являются параметрами, оказывающими взаимное влияние друг на друга.

## 3. Давление масла.

Для того, чтобы ДВС функционировал исправно, все его механизмы должны постоянно смазываться. При этом, масло должно распределяться между узлами по специальным каналам системы моторной смазки. Показатель давления масла служит и своеобразным показателем состояния двигателя, а также дает возможность определить его ресурс до капитального ремонта.

Помимо этого, давление масла в системе смазки оказывает влияние на общую безопасность автомобиля в процессе его эксплуатации. При этом, давление масла влияет на такие параметры работоспособности как износостойкость и теплостойкость.

Основываясь на данных, полученных из источников [8, 9], можно отметить, что температура жидкости в двигателе, повышается, когда в системе охлаждения падает уровень охлаждающей жидкости и давление моторного масла. В последнем случае, система охлаждения уже не успевает отвести тепло из рабочей зоны, и масло начинает нагреваться от контакта с перегретыми деталями ДВС.

Также отметим, что старение масла и потеря его вязкостных свойств также могут стать причиной нарушения температурного диапазона. На основании результатов работы [9] можно с уверенностью сказать о том, что количество тепла, которое может быть получено при охлаждении выхлопных газов до температуры 20 °С в среднем в 2 раза больше, чем то количество тепла, которое может быть получено при охлаждении выхлопных газов до температуры 120 °С.

Давление масла в двигателе может зависеть не только от качества масла, но также от наличия в нем топлива. Попадание топлива в масло может быть по причине неполного сгорания, «насосного» эффекта, из-за изменения характеристик поршневых колец, и т.п., а также, причиной разжижения масла может быть неисправность форсунок, которые подают топливо даже после остановки двигателя.

## Материалы и методы

Современные диагностические системы обладают широчайшими возможностями для своевременной регистрации, а также для передачи информации о техническом состоянии машин.

В зависимости от устройства и расположения системы передачи, хранения и обработки информации различают удаленные и стационарные диагностические системы.

Электронная система техники состоит из блоков управления и многочисленных датчиков, объединенных в единую сеть с блоками управления [10]. Взаимодействие между элементами этой цепи осуществляется посредством электрических сигналов с определенными параметрами [11, 12].

В основе нашей работы также будут использованы методики удаленного диагностирования, так как выбранный нами дизельный ДВС, чаще всего устанавливается на различную дорожно-строительную технику, оснащённую системой бортовой диагностики использующие протокол SAE J1708 CAN по ISO 9141 (используется стандартный 12-pin разъем).

Для регистрации данных в нашей работе мы использовали прибор-интерфейс (адаптер) DEUTZ HS light II (Рис. 1), поддерживающий следующие протоколы: EMR4 EDC17CV52, EDC17CV52MSV6/V8, EDC17CV54 и EDC17CV56.

В нашей диагностической системе, CAN-USB интерфейс соединяет бортовой компьютер техники DEUTZ с USB портом ноутбука, обеспечивая эффективный обмен данными. Данное оборудование позволяет выполнять следующие виды диагностических работ: считывание данных ID; мониторинг действительных значений; считывание ошибок и очистка протокола; мониторинг параметров силовой установки в реальном времени; обновление программы; калибровка и настройка электронного блока управления.



**Рис. 1.** Вид диагностического прибора HS light II

Отметим, что данный прибор поставляется в двух модификациях – как стационарный и как удаленный. Процесс удаленной диагностики прост, модуль управления передает данные в наш диагностический прибор, далее прибор по сети интернет передаёт данные на связанный с ним диагностический ПК.

На Рис. 2 представлена общая схема компонентов используемой нами системы для удаленного диагностирования.

### Результаты

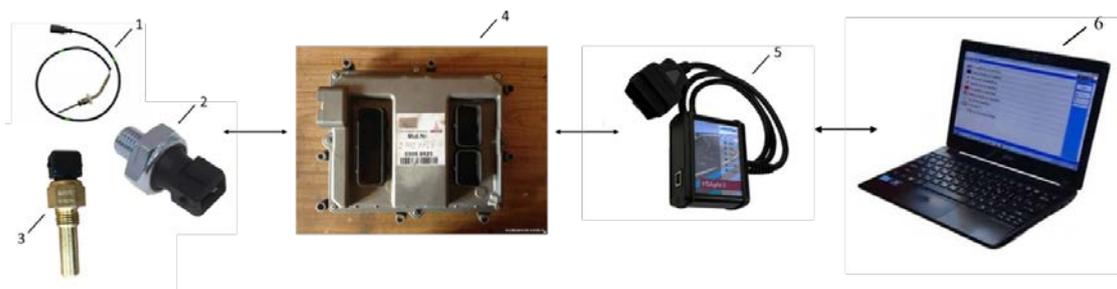
Для дальнейшей работы с диагностической системой приняты следующие обозначения трех диагностических параметров  $X = (X_1, X_2, X_3)$ , где

$X_{1-3}$  - показатели с датчика...

Отметим, что каждый из показателей  $X$  с определенной вероятностью будет характеризовать одно из  $n$  случайных состояний объекта  $D_i$ . Задача заключается в распознавании состояния ДВС по совокупности параметров  $X$ .

В данной работе, в случае если объект находится в состоянии  $D_i$ , которое характеризуется простым признаком  $X_j$ , то вероятность совместного появления этих событий (наличие у объекта состояния  $D_i$  и параметра  $X_i$ ) согласно зависимости Байеса можно записать в виде:

$$P\left(\frac{D_i}{X_j}\right) = \frac{P(D_i) \cdot P\left(\frac{X_i}{D_i}\right)}{P(X_j)},$$



**Рис. 2.** Схема регистрации информации и ее передачи:

- 1 – датчик температуры отработавших газов, 2 – датчик давления масла, 3 – датчик температуры ОЖ, 4 – ЭБУ EMR3, 5 – прибор HS light II, 6 - ПК

Датчик температуры отработавших газов расположен в выпускном коллекторе. Данный датчик отправляет показания входного напряжения на модуль управления ДВС. Отметим, что если напряжение системы выходит за пределы установленного диапазона, система выдает диагностический код 237 неисправности, согласно протоколу «Контроль температуры отработавших газов. Температура вне указанного диапазона», плюс на приборном щитке загорается сигнальная лампа, указывающая на наличие неисправности.

Датчик давления масла располагается в районе масляного картера двигателя.

Все данные с датчиков могут быть получены с помощью диагностического оборудования HS Light II, которое подключается к бортовому диагностическому разъему. С его помощью, система регистрирует и передает текущие значения температуры охлаждающей жидкости, температуры выхлопных газов и давления масла в двигателе на диагностический стенд или ПК. Измерение текущего (изменяющегося под воздействием температуры) значения сопротивления или давления датчика не требуется, так как оборудование автоматически сопоставляет эти значения с указанными в спецификации значениями датчика.

### Выводы

Таким образом, в ходе дальнейшего выполнения работы, планируется :

1. Изучение состояния основных контролируемых параметров, влияющих на тепловые показатели работы ДВС.
2. Оценка точности получаемых значений по трем контролируемым параметрам;
3. Оценка взаимосвязи выбранных нами параметров при эксплуатации;
4. Подбор оптимальной методики диагностирования;
5. Определение оптимальные режимы работы ДВС Deutz TCD, при выходе за пределы которых есть вероятность выхода из строя.

В заключение отметим, что использование полученных результатов приведет к упрощению процесса определения неисправностей, что существенно поднимет уровень достоверности необходимых рекомендаций, связанных как с эксплуатацией, так и с ремонтом дизельных ДВС серии TCD.

### Библиографический список

1. Баурова Н.И. Информационная модель состояния технической системы // Все материалы. 2017. №6. С. 11-16.
2. Спичкин Г.В., Третьяков А.М. Практикум по диагностированию автомобилей. Параметры технического состояния двигателя. М.: Высш. шк., 1986. – 265 с.
3. Павлов А. А. Совершенствование гидродинамики течения жидкости в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания с целью улучшения температурного состояния теплонапряженных деталей - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Ярославль, 2004. – 150 с.
4. Денисов-Винский Н.Д. Анализ вторичного тепла промышленных предприятий и его использование. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 196 с.
5. Денисов В.П., Домбровский А.П., Журавлев С.С. Прогнозирование температуры двигателя внутреннего сгорания с использованием адаптивной модели // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». 2015. №3 (43). С. 57-62.
6. Лиханов В.А., Россохин А.В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12с на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. №12. С. 226-229.
7. Сексенбаева Р.Б., Данияров Н.А., Жалгасбеков А.З., Минбаев Ж.С. К вопросу о составе отработавших газов дизелей // Молодой ученый. 2014. №16. С. 75-77.

8. Максимов С.А., Рыжков Н.Р., Бойко Г.В. Исследование моторных масел и их влияние на работу автомобильного транспорта // Молодой ученый. 2017. №14. С. 98-101.
9. Хазиев А.А. Причины изменения свойств моторного масла // Грузовик. 2013. №6. С. 15–16.
10. Пешехонов М.В., Катунин А.А., Радченко С.Ю. Использование возможностей протокола obd-ii при создании подсистемы дистанционного диагностирования автомобилей в структуре ИТС // Сборник ГЛОНАСС. М.: 2014. - 439 с.
11. Пегачков А.А. Повышение показателей безотказности с помощью удаленного диагностирования автомобилей // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2017. №25. С. 83-87.
12. Капцевич О.А. Система удаленного мониторинга и диагностики карьерной техники в сложных условиях эксплуатации // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. № 4. С. 56-63.

#### References

1. Baurova N.I. Information model of the state of a technical system. Vse materialy. 2017; 6. pp. 11-16.
2. Spichkin G.V., Tret'jakov A.M. Workshop on vehicle diagnostics. Engine technical condition parameters. M.: Vyssh. shk., 1986. 265 p.
3. Pavlov A. A. Improving fluid flow hydrodynamics in the internal combustion engine cooling system in order to improve the temperature state of heat-stressed parts-Dissertation for the degree of candidate of technical Sciences, Jaroslavl', 2004. 150 p.
4. Denisov-Vinskij N.D. Analysis of secondary heat of industrial enterprises and its use. M.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 196 p.
5. Denisov V.P., Dombrovsky A.P., Zhuravlev S.S. Predicting the temperature of an internal combustion engine using an adaptive model. Vestnik SibADI. 2015; 3 (43). pp. 57-62.
6. Likhanov V.A., Rossokhin A.V. Evaluation of the influence of the D-245.12s diesel operating modes on the smoke of exhaust gases when operating on oil and alternative fuels. Molodoj uchenyj. 2015; 12. pp. 226-229.
7. Seksenbaeva R.B., Daniyarov N.A., Zhalgasbekov A.Z., Minbaev Zh.S. To the question of the composition of the exhaust gases of diesel engines. Molodoj uchenyj. 2014; 16. pp. 75-77.
8. Maksimov S.A., Ryzhkov N.R., Boyko G.V. The study of motor oils and their impact on the operation of road transport. Molodoj uchenyj. 2017; 14. pp. 98-101.
9. Khaziev A.A. Reasons for changing the properties of motor oil. Gruzovik. 2013; 6: pp. 15–16.
10. Peshehonov M.V., Katunin A.A., Radchenko S.Ju. Using the capabilities of the obd-ii Protocol when creating a subsystem for remote vehicle diagnostics in the ITC structure. GLONASS. M.: 2014. 439 p.
11. Pegachkov A.A. Improving reliability with the help of remote vehicle diagnostics. Novye materialy i tehnologii v mashinostroenii. 2017; 25: pp. 83-87.
12. Kaptsevich O.A. System for remote monitoring and diagnostics of mining equipment in difficult operating conditions. Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy. 2016; 4. pp. 56-63.

УДК 343.148.63

*Воронежский государственный  
технический университет  
Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-  
ной техники и инженерной механики имени  
проф. Н.А.Ульянова Е.А. Тарасов  
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.Ulyanova E.A. Tarasov  
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-77-01-29  
e-mail: [stim@vgasu.vrn.ru](mailto:stim@vgasu.vrn.ru)*

Е.А. Тарасов

### **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ ЭКСПЕРТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭКСПЕРТИЗЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ**

В процессе эксплуатации на кузове автомобиля могут появиться различные дефекты и для того, чтобы выявить характер и причину этих дефектов зачастую необходима экспертиза по исследованию лакокрасочного покрытия кузова автомобиля. Представлены технические средства, инструмент и приспособления для производства судебной автотехнической экспертизы по исследованию лакокрасочного покрытия кузова автомобиля. Сказано о том, какое назначение имеет лакокрасочное покрытие кузова. Описано, как производится измерение толщины лакокрасочного покрытия кузова автомобиля, а также твердости и адгезии; перечислено какие требования к лакокрасочному покрытию кузова автомобиля устанавливает изготовитель и ГОС-Ты. Сделан вывод о том, что ни все недостатки кузова являются дефектами. Описан механизм образования наносной коррозии.

**Ключевые слова:** автомобиль, кузов, лакокрасочное покрытие, ЛКП, адгезия, твердость, толщина, наносная коррозия, эксплуатационный дефект.

Е.А. Tarasov

### **THE SEQUENCE OF ACTIONS OF THE EXPERT IN THE PRODUCTION PROCESS EXPERTISE IN THE STUDY OF PAINT AND VARNISH COATING I AM A CAR BODY**

During operation, various defects may appear on the car body and in order to identify the nature and cause of these defects, it is often necessary to examine the paint coating of the car body. Technical means, tools and devices for the production of forensic auto technical expertise on the study of the paintwork of the car body are presented. It is said about the purpose of the paintwork of the body. It describes how to measure the thickness of the paintwork of the car body, as well as the hardness and adhesion; it is listed what requirements for the paintwork of the car body are set by the manufacturer and GOST. It is concluded that not all body defects are defects. The mechanism of formation of alluvial corrosion is described.

**Keywords:** car, body, paintwork, paintwork, adhesion, hardness, thickness, surface corrosion, operational defect.

Число автомобилей на дорогах России постоянно растет. В процессе эксплуатации на кузове автомобиля могут появиться различные дефекты и для того, чтобы выявить характер и причину этих дефектов зачастую необходима экспертиза по исследованию лакокрасочного покрытия (ЛКП) кузова автомобиля [1].

Рассмотрим конкретный пример исследования ЛКП автомобиля марки RENAULT, модель LOGAN, цвет кузова: белый, 2015 года выпуска.

#### **Технические средства для исследования лакокрасочного покрытия кузова автомобиля**

В процессе исследования использовались следующие материалы, технические средства, инструмент и приспособления:

- калиброванная линейка измерительная металлическая 0-150 мм с ценой деления 1 мм;
- лупа измерительная HORIZON с кратностью увеличения 10X;
- поверенный толщиномер лакокрасочного покрытия PosiTector 6000;
- набор деревянных чертежных карандашей Mitsu-Bishi 9800 различной твердости;
- адгезиметр РН (РЕЗАК);
- цифровой микроскоп с кратностью увеличения от 50X и 500X;
- линейка на магнитной основе;
- поверенный измеритель температуры, влажности и точки росы PosiTector DPM;
- ноутбук Samsung RV508.

Съемка проводилась с помощью цифрового фотоаппарата Canon.

Маркировка мест определения толщины лакокрасочного покрытия на кузове исследуемого транспортного средства, а также маркировка дефектов (метки) ЛКП проводилась с помощью самоклеящихся стикеров, на которые шариковой ручкой наносились цифры.

#### **Результаты экспертного осмотра автомобиля**

В результате экспертного осмотра объекта исследования установлено следующее:

- идентификация исследуемого транспортного средства и его идентификационные параметры и характеристики соответствуют данным регистрационных документов, предоставленных эксперту в рамках проведения экспертного осмотра [2];
- пробег исследуемого автомобиля определялся по одометру и на момент проведения осмотра составил 52432 км.;
- на внутренней панели капота выявлено включение в ЛКП размером 0,1 мм (метка № 1);
- в районе места крепления переднего левого крыла выявлено два включения в ЛКП размером 0,1 мм (метка №№ 4, 5);
- на наружной лицевой поверхности переднего левого крыла выявлено два очага наносной коррозии размером 0,5 мм (метка № 6,7);
- на наружной лицевой поверхности передней левой двери выявлено шесть очагов наносной коррозии размером 0,5 ... 0,7 мм (метка № 8,9,10,11,12,13);
- на наружной лицевой поверхности задней левой двери выявлено восемь очагов наносной коррозии размером 0,2 ... 0,7 мм (метка № 14,15,16,17,18,19,20,21);
- на наружной лицевой поверхности панели крыши выявлено три очага наносной коррозии размером 0,1 ... 0,3 мм (метка № 23,24,43);
- на панели багажной полки выявлено три очага наносной коррозии размером 0,2 ... 0,5 мм (метка № 25,30,31);
- на панели багажной полки выявлено четыре включения в ЛКП размером 0,1 ... 0,3 мм (метка № 26,27,28,29);
- на панели крышки багажника выявлено четыре очага наносной коррозии размером 0,1 ... 0,5 мм (метка № 32,33,34,35);
- на панели крышки багажника выявлено два включения в ЛКП размером 0,1 ... 0,3 мм (метка № 36,37);

- на панели задней правой двери выявлено пять очагов наносной коррозии размером 0,1 ... 0,4 мм (метка № 38,39,40,41,42);
- на панели передней правой двери выявлено четыре очага наносной коррозии размером 0,2 ... 0,4 мм (метка № 44,45,46,47);
- на центральной правой стойке выявлено семь включений в ЛКП размером 0,1 ... 0,3 мм (метка № 48,49,50,51,52,53,54);
- на панели переднего правого крыла выявлено четыре очага наносной коррозии размером 0,2 ... 0,5 мм (метка № 55,56,57,58);
- на внутренней панели капота выявлено одно включение в ЛКП размером 0,2 мм (метка № 59);
- в месте крепления переднего правого крыла выявлено одно включение в ЛКП размером 0,2 мм (метка № 60);
- на панели передка выявлено три включения в ЛКП размером 0,2 ... 0,3 мм (метка № 61,62,63).

При исследовании автомобиля проводились локальная очистка поверхности лакокрасочного покрытия автомобиля, внешний осмотр и контрольные операции с использованием технических средств.

**Проводились:**

- измерения толщины ЛКП;
- измерения твердости методом карандаша;
- определение адгезии ЛКП.

Требования к ЛКП автотранспортного средства устанавливает производитель и государственные стандарты. В соответствии со ст.2 Федерального закона «О техническом регулировании» установленные техническими регламентами требования к продукции являются обязательными. Свойства лакокрасочного покрытия кузова автомобиля будут оцениваться с учетом требований нормативных документов [3].

В связи с тем, что автомобиль марки RENAULT, модель LOGAN, цвет кузова: белый, 2015 года выпуска, произведен и продан в России, то на него распространяются все требования ГОСТов Российской Федерации.

Лакокрасочное покрытие кузова автомобиля имеют два назначения – защитное и эстетическое, т.е. защищают ЛКП от воздействия агрессивных факторов окружающей среды и придают изделию эстетический вид (ГОСТ 9.072-77).

**Требования к лакокрасочному покрытию кузова автомобиля**

Приведем нормативные документы, которые устанавливают требования к показателям, характеризующим защитные и декоративные свойства лакокрасочного покрытия кузова автомобиля.

В соответствии с ГОСТ 23852-79 лакокрасочное покрытие кузова автомобиля, к которым относится автомобиль Renault Logan, должно соответствовать II классу.

ГОСТ 9.032-74 нормирует следующие свойства лакокрасочных покрытий II класса:

- включения;
- шагрень;
- штрихи и риски;
- потеки (в соответствии с ГОСТ 28246-89 - наплывы),
- волнистость;
- разнооттеночность;
- неоднородность рисунка.

ГОСТ 9.407-84 устанавливает перечень свойств, характеризующих внешний вид и защитные свойства лакокрасочных покрытий. К свойствам, характеризующим внешний вид, ГОСТ 9.407-84 относит:

- изменение блеска;
- изменение цвета;
- грязеудержание;
- меление.

К повреждениям, нарушающим защитные свойства лакокрасочного покрытия, ГОСТ 9.407-84 относит:

- растрескивание;
- выветривание;
- отслаивание;
- растворение;
- сморщивание;
- образование пузырей;
- коррозия металла.

Кроме указанных выше, могут быть и другие повреждения, дефекты, неисправности, влияющие на декоративные и защитные свойства лакокрасочных покрытий, указанные в ГОСТ 28246-89.

Классификация дефектов лакокрасочного покрытия производилась в соответствии с ГОСТ 28246-89, ГОСТ 9.072-77:

- окрашиваемая поверхность: поверхность, на которую нанесен или должен быть нанесен лакокрасочный материал;
- лакокрасочное покрытие - сплошное покрытие, полученное в результате нанесения одного или нескольких слоев лакокрасочного материала на окрашиваемую поверхность;
- адгезионная прочность лакокрасочного покрытия - силы, связывающие лакокрасочное покрытие с покрашенной поверхностью;
- твердость лакокрасочного покрытия - способность высохшего лакокрасочного покрытия сопротивляться проникновению или вдавливанию твердого тела;
- образование кратеров в лакокрасочном покрытии - образование в лакокрасочном покрытии маленьких круглых углублений, сохраняющихся после сушки;
- растрескивание лакокрасочного покрытия - образование разрывов в лакокрасочном покрытии;
- подпленочная коррозия - коррозия покрашенного материала в следствии воздействия агрессивной окружающей среды, проникающей к его основанию через лакокрасочный материал.

Исследование лакокрасочного покрытия кузова автомобиля Renault Logan, проводилось с целью подтверждения наличия недостатков (дефектов), отраженных в ГОСТ, а также недостатков (дефектов), проявившихся в процессе эксплуатации, которые в ГОСТ не указываются, но описаны в нормативно-справочной литературе.

На ряде деталей спорного автомобиля Renault Logan Истец заявляет дефекты в виде "... наличие твердых частиц в составе ЛКП ...". Следует отметить, что ГОСТ 9.032-74 подобные дефекты трактует, как "включения".

Согласно ГОСТ 9.032-74, ГОСТ 23852-79 и нормативно-технической документации производителя автотранспортных средств ЛКП легковых автомобилей подразделяются по I, II, III, V и VI классам покрытий.

Лицевые наружные поверхности панелей кузова среднего, малого и особо малого класса относятся ко II классу покрытия [4].

К III классу покрытий относятся внутренние поверхности кузова, не закрываемые обивкой и деталями, внутренние поверхности капота, дверей, крышки багажника, водосточные желоба крыши и др. [4].

Таким образом, кузов исследуемого автомобиля Renault Logan относится ко II классу

покрытия.

Согласно ГОСТ 9.032-74 для II класса высокоглянцевых и глянцевых однотонных покрытий кузова допускается не более 4-х включений на м<sup>2</sup>, размером не более 0,5 мм с расстоянием между включениями не менее 100 мм.

Согласно ГОСТ 9.032-74 для III класса глянцевых однотонных покрытий кузова допускается не более 10-х включений на м<sup>2</sup>, размером не более 0,5 мм с расстоянием между включениями не менее 50 мм.

При исследовании ЛКП автомобиля применялись методы визуального контроля, оптической микроскопии, инструментального контроля.

Исследование показало, что лакокрасочное покрытие кузова автомобиля марки RENAULT, модель LOGAN, цвет кузова: белый, 2015 года выпуска, имеет недостатки (дефекты) ЛКП на переднем левом крыле, на передней левой двери, на задней левой двери, на задней правой двери, на передней правой двери, на переднем правом крыле.

При детальном исследовании выявленных в процессе осмотра недостатков (дефектов) ЛКП с использованием цифрового микроскопа установлено, что размер включений в ЛКП на элементах кузова автомобиля находится в диапазоне 0,1 ... 0,3 мм, при количестве включений – 21 шт. (метки №№ 1, 4, 5, 26, 27, 28, 29, 42, 43, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 59, 60, 61, 62, 63). Кроме того при осмотре были выявлены очаги наносной коррозии ЛКП на элементах кузова автомобиля. Их размер находится в диапазоне 0,1 ... 0,7 мм, при количестве очагов коррозии – 39 шт. (метки №№ 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 55, 56, 57, 58). А также были обнаружены очаги щелевой коррозии на внутренней панели капота в проемах двух технологических отверстий.

Для того, чтобы ответить на поставленный судом вопрос, экспертом были проведены исследования ЛКП. **А именно проводились:**

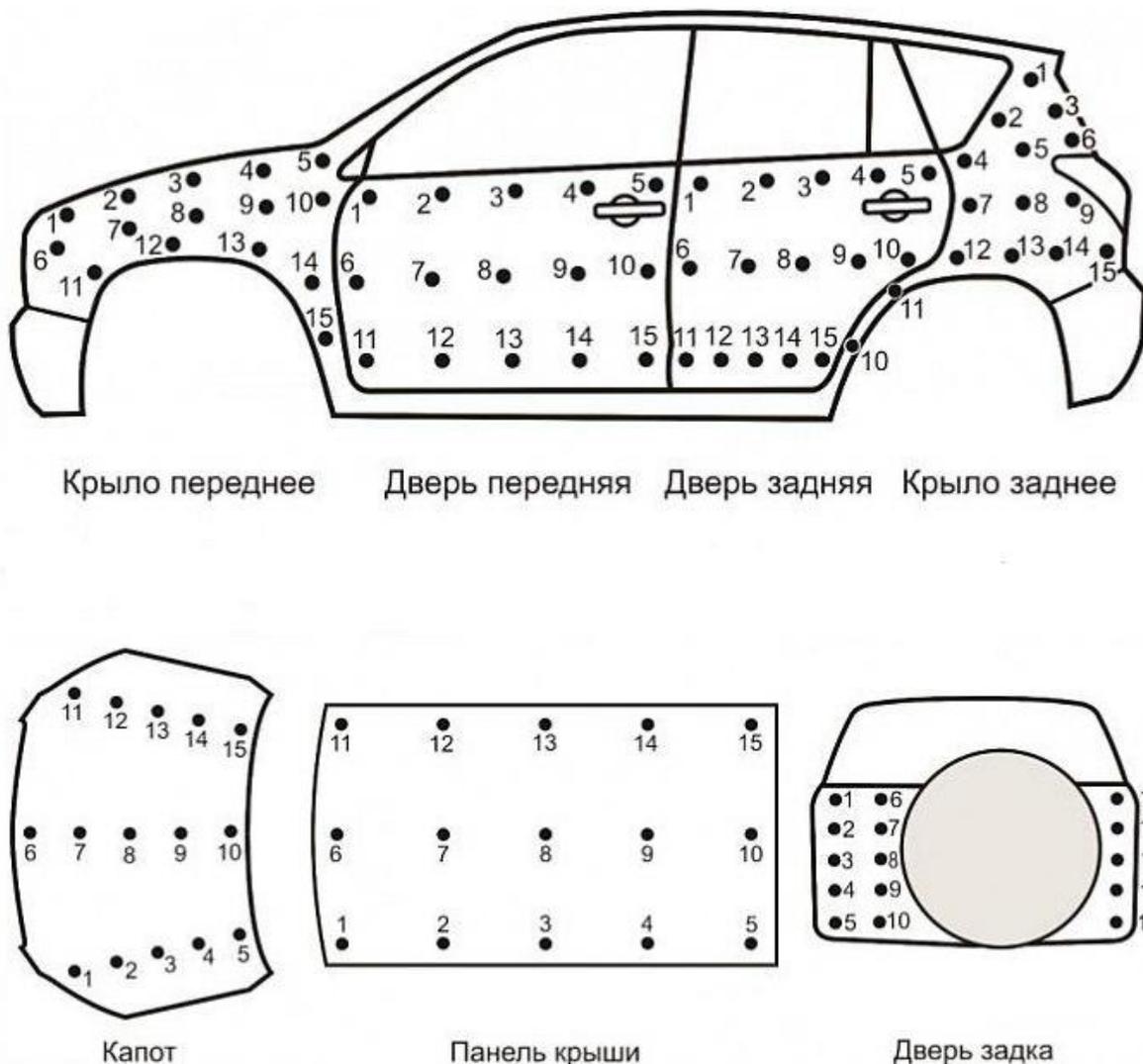
- измерения толщины ЛКП;
- измерения твердости методом карандаша;
- определение адгезии ЛКП.

Измерение толщины лакокрасочного покрытия кузова автомобиля

Контроль толщины лакокрасочного покрытия исследуемого автомобиля осуществлялся толщиномером PosiTector 6000.

Методы контроля толщины ЛКП и требования к измерительным приборам изложены в ГОСТ Р 51694-2000. Часто эксперты ограничиваются однократным замером толщины покрытия в 1-5 точках детали кузова, не указывая при этом расположение контрольных точек и не делая параллельных измерений в каждой контрольной точке. Это ошибка. Для получения необходимой и достаточной информации требуется 15 и более контрольных точек на внешних поверхностях основных деталей кузова (капот, дверь, крыло, панель крыши и др.) [5].

Требуется также представление схемы контроля, на которой указано не только количество, но и расположение контрольных точек. Это необходимое условие выполнения обязательного требования к экспертному заключению, установленного ст. 8 Федерального закона № 73-ФЗ «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации» – проверяемости. При наличии схемы контроля появляется возможность проверить результаты контроля, представленные в заключении эксперта. Без схемы контроля проверка фактически невозможна и опирается только на выводы эксперта. Но экспертиза не может основываться на доверии – она должна обеспечиваться возможностью проверки результатов [6].



**Рис. 1.** Схема контроля толщины лакокрасочного покрытия автомобиля

Схема исследования толщины ЛКП автотранспортного средства представлена на рисунке 1. На каждой лицевой поверхности деталей кузова было 15 контрольных точек. Локальная толщина лакокрасочного покрытия определялась в каждой контрольной точке как средняя величина по результатам не менее трех параллельных измерений, что соответствует п. 7.4.3 и 8.4.2 ГОСТ Р 51694-2000. Для решаемой задачи результат вычисления средней величины округлялся до целой величины единицы измерения [7].

При исследовании температура окружающего воздуха составляла 27 0С, относительная влажность воздуха – 52 %. Эти параметры определялись с помощью поверенного измерителя температуры, влажности и точки росы PosiTector DPM.

Результаты контроля толщины лакокрасочного покрытия приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты контроля толщины лакокрасочного покрытия автомобиля

Сторона кузова	Контрольные точки и результаты контроля														
	<b>Крылья передние</b>														
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
<b>Левая</b>	130	132	140	130	120	124	122	126	130	124	124	130	134	136	134
<b>Правая</b>	128	133	135	133	126	128	128	135	124	131	139	135	141	141	137
<b>Двери передние</b>															
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
<b>Левая</b>	124	130	130	132	130	134	142	142	140	132	134	136	140	146	146
<b>Правая</b>	126	136	140	136	136	138	128	134	130	124	130	130	134	142	144
<b>Двери задние</b>															
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
<b>Левая</b>	132	142	136	130	136	138	146	142	144	136	141	142	140	130	136
<b>Правая</b>	136	134	126	125	127	132	140	136	140	138	127	140	130	138	134
<b>Крылья задние</b>															
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
<b>Левая</b>	138	142	136	130	136	138	146	142	144	136	141	142	140	130	136
<b>Правая</b>	134	128	130	136	128	130	142	128	134	128	129	132	134	132	135
<b>Дверь задка</b>															
	136	144	132	130	134	136	138	130	142	138	148	146	146	141	132
<b>Панель крыши</b>															
	138	126	144	148	132	132	126	130	138	132	136	142	144	132	140
<b>Капот</b>															
	132	146	140	144	146	130	132	146	150	132	132	146	130	136	144

Толщина лакокрасочного покрытия в каждой конкретной точке поверхности (локальная толщина покрытия) является величиной случайной.

Статистические показатели толщины ЛКП автомобиля определялись в соответствии с ГОСТ 50779.10-2000 по формулам (1) и (2)

$$\delta_{cp} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \delta_i, \quad (1)$$

$$S(\delta) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\delta_i - \delta_{cp})^2}, \quad (2)$$

где  $\delta_{cp}$  - среднее значение толщины лакокрасочного покрытия, мкм;

$S(\delta)$  - выборочное среднее квадратическое отклонение;

$\delta_i$  -  $i$ -е значение измеренной величины локальной толщины покрытия, мкм;

$N$  – количество контрольных точек.

Статистические характеристики толщины лакокрасочного покрытия отдельных панелей кузова представлены в таблице 2.

Статистические характеристики толщины лакокрасочного покрытия отдельных панелей кузова исследуемого автомобиля

Статистические характеристики				
№ п/п	Наименование детали кузова	Среднее значение $\delta_{cp}$ , мкм.	Минимальное значение $\delta_{мин}$ , мкм.	Максимальное значение $\delta_{max}$ , мкм.
1	Крыло переднее левое	129	120	140
2	Крыло переднее правое	132	124	141
3	Дверь передняя левая	135	124	146
4	Дверь передняя правая	133	124	144
5	Дверь задняя левая	138	130	146
6	Дверь задняя правая	133	125	140
7	Крыло заднее левое	138	130	146
8	Крыло заднее правое	132	128	142
9	Дверь задка	138	130	148
10	Панель крыши	136	126	148
11	Капот	139	130	150

Анализ этих характеристик показывает, что на всех частях кузова исследуемого автомобиля толщина лакокрасочного покрытия лежит в пределах от 120 до 150 мкм. Технологический разброс параметра составляет 30 мкм, что свидетельствует о высоком качестве технологического процесса покраски кузова. Средняя толщина лакокрасочного покрытия наружных поверхностей деталей кузова лежит в диапазоне от 129 до 139 мкм, что также свидетельствует о высоком качестве технологического процесса нанесения комплексного ЛКП на кузов транспортного средства.

Средняя толщина и диапазон рассеивания толщины лакокрасочного покрытия кузова исследуемого автомобиля соответствуют характеристикам лакокрасочного покрытия, сформированного на технологической линии окраски кузовов при их изготовлении [8].

#### Определение твердости ЛКП кузова автомобиля

Методы определения твердости ЛКП, изложенные в ГОСТ 5233-89 и ГОСТ Р 52166-2003, не могут быть применены к лакокрасочному покрытию конкретного автомобиля. Эти испытания проводятся только на образцах.

Твердость ЛКП исследуемого автомобиля определялась в соответствии с ГОСТ Р 54586-2011, стандартом ISO 15184: 1998.

Для проведения исследования были выбраны несколько деталей, а именно крыша и капот, на ЛКП которых наносились риски карандашами различной степени твердости (рис. 2) с наклоном карандаша в 45°. При этом, применялись карандаши разной степени твердости (начиная с самого мягкого, 2В, В, НВ, F, H, 2H). Грифель карандаша имеет острую кромку, заточен под углом 90°. При проведении исследования установлено, что на поверхности ЛКП риски остаются при воздействии карандаша 2H. Следовательно, ЛКП автомобиля имеет твердость, соответствующую параметру «H». Такой показатель является нормальным, типичным для лакокрасочных покрытий металлических частей кузова автомобиля.

#### Определение адгезии ЛКП кузова автомобиля

Исследование по определению степени адгезии проводится методом решетчатых надрезов по общепринятой методике в соответствие с международным стандартом ИСО 2409 и ГОСТ 15140-78, например, с помощью «Адгезиометра РН» (РЕЗАК). При проведении исследований фрезой с расстоянием между режущими кромками 2 мм. наносится по 8 насечек, расположенных крест-накрест (в виде решетки). После нанесения соответствующей решетки для удаления отслоившихся частичек покрытия проводят кисточкой по поверхности решетки



**Рис. 2.** Типы карандашей, используемых для определения твердости лакокрасочного покрытия автомобиля

в диагональном направлении по семь раз в прямом и обратном направлении. Адгезионную стойкость покрытия ЛКП оценивают в соответствии с табл. 1 ГОСТ 15140-78, при необходимости используя лупу [9]. Данный метод является разрушающим и повреждает ЛКП автомобиля. Владелец исследуемого автомобиля отказался от данного вида исследования ЛКП, поэтому адгезия ЛКП не определялась.

Следует добавить, что для кузовов автомобилей, как и для всех металлических изделий, окрашенных в заводских условиях, адгезия должна быть не ниже балла “1” по ГОСТ 15140-78.

На основании вышепредставленных исследований ЛКП автомобиля Renault Logan стоит сделать вывод, что транспортное средство покрашено в заводских условиях.

При детальном исследовании выявленных в процессе осмотра недостатков (дефектов) ЛКП с использованием цифрового микроскопа установлено, что размер включений в ЛКП на элементах кузова автомобиля находится в диапазоне 0,1 ... 0,3 мм, при количестве включений – 21 шт. (метки №№ 1, 4, 5, 26, 27, 28, 29, 42, 43, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 59, 60, 61, 62, 63). Кроме того при осмотре были выявлены очаги наносной коррозии ЛКП на элементах кузова автомобиля. Их размер находится в диапазоне 0,1 ... 0,7 мм, при количестве очагов коррозии – 39 шт. (метки №№ 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 55, 56, 57, 58).

Таким образом, в результате исследования вышеуказанного автомобиля были выявлены производственные и эксплуатационные недостатки (дефекты) [10]. Ниже эксперт объяснит причину возникновения производственных и эксплуатационных недостатков (недостатков).

#### **Производственные и эксплуатационные недостатки**

Необходимо отметить, что не каждый недостаток ЛКП является дефектом. Так ГОСТ 9.032-74 для III класса глянцевых однитонных покрытий кузова (внутренние поверхности кузова, не закрываемые обивкой и деталями, внутренние поверхности капота, дверей, крышки багажника, водосточные желоба крыши и др.) допускает не более 10-х включений на м2, размером не более 0,5 мм с расстоянием между включениями не менее 50 мм., а для II класса высокоглянцевых и глянцевых однитонных покрытий кузова допускается не более 4-х включений на м2, размером не более 0,5 мм с расстоянием между включениями не менее 100 мм. Следовательно, недостатки ЛКП в виде включений, которые превышают эти нормативные показатели необходимо устранять [4].

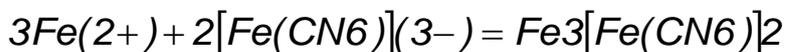
#### **Причинами образования включений в ЛКП автомобиля являются следующие:**

- плохо проведенный процесс очистки поверхности;
- после шлифовки остались продукты шлифовки или абразивного материала. Перед покраской кузова автомобиля происходит шлифование его наружных поверхностей. Это делается для того, чтобы устранить дефекты металла, а также придать элементам шероховатость, чтобы повысить адгезионную стойкость ЛКП. При шлифовании используют порошки, пасты, шкурки. При некачественной очистке кузовных элементов, продукты шлифовки или абразивного материала попадают на поверхность подложки до нанесения ЛКП, т.е. в процессе производства автомобиля.

Недостатки в виде выявленных включений в ЛКП (метки №№ 1, 4, 5, 26, 27, 28, 29, 42, 43, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 59, 60, 61, 62, 63) соответствуют нормам требований ГОСТ 9.032-74 и ГОСТ 9.402-2004, а, следовательно, их нет необходимости устранять. Данные недостатки ЛКП не являются дефектами.

Однозначно определить, является ли вещество бурого или красно-коричневого цвета продуктом коррозии железа, с помощью внешнего осмотра не представляется возможным,

так как на лакокрасочном покрытии кузовов автомобилей могут образовываться наслоения иных веществ похожего цвета, которые продуктами коррозии не являются. Проверка, которая получила название «тест на коррозию», проводилась с помощью специального реagenтного состава, представляющего собой кислотный раствор железосинеродистого калия  $K_3[Fe(CN)_6]$ . При наличии в проверяемом веществе ионов железа  $Fe^{2+}$  протекает химическая реакция:



Образовавшееся химическое соединение  $Fe_3[Fe(CN)_6]_2$  имеет синий цвет (турнбулева синь). Подобный реagenтный состав был приготовлен. Но прежде чем применить, была проверена его работоспособность. Для этого были использованы продукты коррозии, отобранные с поверхности другой стальной детали, хранившейся длительное время во влажной среде. Результаты теста показали, что продукты коррозии железа дают появление турнбулевой сини. Это означает, что приготовленный реagenтный состав работоспособен и пригоден для проведения дальнейших исследований. После нанесения раствора железосинеродистого калия на пораженный участок, вещество дало реакцию с изменением цвета. Это свидетельствует о том, что проверяемое вещество является продуктом коррозии железа, т.е. ржавчиной [11].

У исследуемого автомобиля после удаления продуктов коррозии, не было установлено наличие сколов и срезов лакокрасочного покрытия до поверхности металла. В местах поврежденных коррозией, не видны повреждения поверхности металла в виде глубоких царапин и участков деформации поверхностного слоя [12].

Экспертным осмотром лакокрасочного покрытия автомобиля RENAULT, модель LOGAN, цвет кузова: белый, 2015 года выпуска, установлены очаги наносной коррозии ЛКП на элементах кузова автомобиля, их размер находится в диапазоне 0,1 ... 0,7 мм, при количестве очагов коррозии – 39 шт. (метки №№ 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 55, 56, 57, 58. Источником недостатка ЛКП могло послужить воздействие посторонних предметов на лакокрасочное покрытие исследуемого автомобиля, в процессе эксплуатации [13]. В результате воздействия посторонних остроконечных предметов обладающих твердостью превышающих твердость ЛКП с поверхностью деталей кузова, на покрытии появляются небольшие трещины, микро вмятины, сколы, не глубокие царапины. При взаимодействии с агрессивной окружающей средой, через полученные повреждения влага из воздуха и атмосферных осадков, противогололедных компонентов, накапливаясь в образовавшихся повреждениях, вызывает образование мелких коричневых точек [14]. Следующим этапом разрушения является вздутие (поднятие пленки). Образовавшееся вздутие (пузырь) со временем разрушается, обнажая металл. Промышленная пыль и мелкие металлосодержащие частицы, попадающие в воздух вблизи промышленных организаций и автомобильных дорог, могут вызвать образование локальных пятен различных цветовых оттенков. Удаляются они чрезвычайно сложно, особенно если с момента попадания загрязнений на лакокрасочное покрытие кузова автомобиля прошло несколько дней. В дальнейшем данные микроскопические металлосодержащие частицы становятся локальными очагами коррозии.

Наносная коррозия появляется на наружных, лицевых поверхностях. Она ухудшает внешний облик автомобиля, но не влияет на его технико-экономические и эксплуатационные качества. Однако если ее своевременно не устранить то, наносная коррозия может развиваться в проникающую [15].

Данные «очаги коррозии» являются эксплуатационным дефектом и связаны с несоблюдением собственником автомобиля требований, изложенных в руководстве по эксплуатации и сервисной книжке.

## Библиографический список

1. Суровая О.А. К вопросу о профессиональной этике руководителя судебноэкспертного учреждения // Теория и практика судебной экспертизы. 2019. Том 14. № 3. С. 72–77.
2. Чеснокова Е.В. К вопросу об оценке пригодности методики исследования маркировочных обозначений транспортных средств для судебно-экспертной деятельности // Теория и практика судебной экспертизы. 2018. Том 13. № 3. С. 25–30.
3. Энциклопедия судебной экспертизы / Под ред. Т.В. Аверьяновой и Е.Р. Россинской. М.: Юристъ, 1999. 552 с.
4. Исследование недостатков легковых автомобилей отечественных моделей, находящихся в эксплуатации. Методическое руководство для экспертов и судей. М.: РФЦСЭ, 2006. 42 с.
5. Россинская Е.Р. Актуальные проблемы подготовки судебных экспертов и дополнительного образования по отдельным экспертным специальностям // Теория и практика судебной экспертизы. 2018. Том 13. № 3. С. 78–85.
6. Модина Л.И. К вопросу о технологии окрашивания транспортных средств и о составе используемых лакокрасочных материалов // Теория и практика судебной экспертизы. 2019. Том 14. № 1. С. 80–86.
7. Россинская Е.Р., Галяшина Е.И., Зинин А.М. Теория судебной экспертизы (судебная экспертология): учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Норма, 2017. 368 с.
8. Майлис Н.П. Судебная трасология: учебник для студентов юридических вузов. М.: Экзамен, 2003. 272 с.
9. Орлов Ю.К. Судебная экспертиза как средство доказывания в уголовном судопроизводстве. М.: РФЦСЭ, 2005. 261 с.
10. Россинская Е.Р. К вопросу о совершенствовании и унификации законодательной регламентации судебной экспертизы / Теоретические и прикладные аспекты использования специальных знаний в уголовном и гражданском судопроизводстве. Научно-практическое пособие / Под ред. Т.Ф. Моисеевой. М.: РАП, 2013. С. 22–31.
11. Орлов Ю.К. Специалист – это сведущее лицо, не заинтересованное в исходе дела // Российская юстиция. 2003. №4. С. 36–37.
12. Боннер А.Т. Традиционные и нетрадиционные средства доказывания в гражданском и арбитражном процессе. М.: Проспект, 2015. 611 с.
13. Зинин А.М. Участие специалиста в процессуальных действиях. Учебник. М.: Проспект, 2014. 254 с.
14. Тарасов А.А. Эксперт и специалист в уголовном процессе России. Монография. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Проспект, 2017. 125 с.
15. Россинская Е.Р. Судебная экспертиза в гражданском, арбитражном, административном и уголовном процессе. Монография. 3-е изд., доп. М.: Норма, Инфра-М, 2014. 735 с.
16. Тарасов Е.А. Новые уплотнения подвижных соединений для гидроцилиндров рекуперативных систем строительных машин // Высокие технологии в строительном комплексе. 2019. № 1. С. 180–185.
17. Тарасов Е.А. Пример заключения специалиста по исследованию причин неисправности гидроблока АКПП в процессе производства автотехнической экспертизы // Высокие технологии в строительном комплексе. 2019. № 2. С. 146–156.

## References

1. Surovaya O. A. On the issue of professional ethics of the head of a forensic institution // Theory and practice of forensic examination. 2019. Volume 14. # 3. Pp. 72-77.

2. Chesnokova E. V. On the issue of assessing the suitability of the method of research of vehicle markings for forensic activities // Theory and practice of forensic examination. 2018. Volume 13. # 3. Pp. 25-30.
3. encyclopedia of forensic science / Edited by T. V. Averyanova and E. R. Rossinskaya, Moscow: Yurist, 1999, 552 p.
4. Research of disadvantages of passenger cars of domestic models that are in operation. Methodological guide for experts and judges. Moscow: RFCSE, 2006. 42 p.
5. Rossinskaya E. R. Actual problems of training of judicial experts and additional education in certain expert specialties // Theory and practice of forensic examination. 2018. Volume 13. # 3. Pp. 78-85.
6. Modinova L. I. On the issue of technology for painting vehicles and the composition of used paint materials // Theory and practice of forensic examination. 2019. Volume 14. No. 1. Pp. 80-86.
7. Rossinskaya E. R., Galyashina E. I., Zinin a.m. Theory of forensic expertise (forensic expert science): textbook. 2nd ed., reprint. and add. M.: Norma, 2017. 368 p.
8. maylis N. P. Judicial tracology: textbook for law students. Moscow: Exam, 2003. 272 p.
9. Orlov Yu. K. Forensic examination as a means of proof in criminal proceedings. Moscow: RFTSSE, 2005. 261 p.
10. Rossinskaya E. R. On the issue of improving and unifying the legal regulation of forensic expertise / Theoretical and applied aspects of the use of special knowledge in criminal and civil proceedings. Scientific and practical guide / Edited by T. F. Moiseeva, Moscow: RAP, 2013, Pp. 22-31.
11. Orlov Yu. K. a specialist Is a knowledgeable person who is not interested in the outcome of the case // The Russian justice. 2003. no. 4. Pp. 36-37.
12. Bonner A. T. Traditional and non-traditional means of proof in civil and arbitration proceedings. Moscow: Prospekt, 2015, 611 p.
13. Zinin, A. M., expert Participation in legal proceedings. Textbook. Moscow: Pro-SPECT, 2014. 254 p.
14. Tarasov A. A. Expert and specialist in the criminal process of Russia. Monograph. 2nd ed., reprint. and add. M.: Prospect, 2017. 125 p.
15. Rossinskaya E. R. Judicial expertise in civil, arbitration, administrative and criminal proceedings. Monograph. 3rd ed., add. M.: Norma, Infra-M, 2014. 735 p.
16. Tarasov E. A. New seals of mobile connections for hydraulic cylinders of river - perative systems of construction machines // High technologies in the construction complex. 2019. No. 1. Pp. 180-185.
17. Tarasov E. A. Example of the conclusion of a specialist on the study of the causes of failure of the automatic transmission hydroblock in the process of production of auto technical expertise // High technologies in the construction complex. 2019. no. 2. Pp. 146-156.