

На правах рукописи



**ГОРЮНОВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН  
КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Кемерово 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Научный руководитель: **Хорешок Алексей Алексеевич**,  
д-р техн. наук, профессор

Официальные оппоненты: **Андреева Людмила Ивановна**,  
д-р техн. наук, главный научный сотрудник  
Челябинского филиала Института Горного  
Дела Уральского Отделения  
Российской Академии Наук (г. Челябинск)

**Хажиев Вадим Аслямович**,  
к.т.н., заведующий лабораторией  
эффективной эксплуатации оборудования  
ООО «Научно-исследовательский институт  
эффективности и безопасности горного  
производства» (г. Челябинск)

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Национальный  
исследовательский технологический  
университет «МИСиС» (г. Москва)

Защита состоится «01» июля 2021 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.01 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, факс: (3842) 36-16-87, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на сайте <http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2021/gor/Dissertation.pdf>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Непша Федор Сергеевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Открытый способ разработки полезных ископаемых в горнодобывающей отрасли страны занимает доминирующее место, так как он является на сегодняшний день более безопасным и экономичным. Совершенствование технологии добычи полезных ископаемых открытым способом сопровождается резким ухудшением горнотехнических условий при росте объемов добычи.

Важным условием нормального функционирования горнодобывающего предприятия является высокая производительность и бесперебойность процесса транспортировки горной массы, что обеспечивается повышением технической готовности автопарка с сохранением приемлемых уровней эксплуатационных затрат. Исследование затрат на эксплуатацию карьерных автосамосвалов позволило установить, что затраты на крупногабаритные шины составляют более 9%, а аварийные простои порядка 7%. Притом, затраты времени на замену или ремонт крупногабаритных шин могут достигать 8 часов. Отсюда становится очевидна значительная роль крупногабаритных шин в обеспечении непрерывной и безопасной работы карьерной техники.

Долговечность шин зависит от многих факторов: дорожно-климатических условий, условий эксплуатации, характеристики шины, технического состояния автосамосвала и организационно-технологических факторов. Степень влияния этих факторов для определенных условий эксплуатации автосамосвалов будет различаться. Многообразие эксплуатационных факторов и степени их воздействия на долговечность крупногабаритных шин значительно усложняют процессы прогнозирования ресурса. Все многообразие различных эксплуатационных факторов, оказывающих влияние на долговечность крупногабаритных шин, недостаточно полно изучено, хотя в этой области было проведено большое количество исследований. В связи с этим, разработка методики

прогнозирования долговечности крупногабаритных шин, в зависимости от эксплуатационных факторов, является весьма актуальным направлением научной работы.

**Степень разработанности.** Исследованием влияния различных эксплуатационных факторов на долговечность шин занимались многие ученые: В. И. Кнороз, В. Н. Абрамов, Э. С. Скорняков, Л. И. Андреева, В. М. Шарипов, В. А. Гудков, С. А. Ширяев, Н. С. Захаров, И. В. Зырянов Г.И. Бродский, А. А. Хорешок, Ю. Е. Воронов и другие.

Несмотря на значительный вклад этих ученых в данной области исследований, основное внимание уделяется шинам автомобилей общего пользования и, как правило, рассматривается один из факторов, оказывающий влияние на долговечность шины. В большинстве рассмотренных работ предлагаемые методики достаточно сложны для использования в условиях горнодобывающего предприятия и требуют проведения дополнительных исследований.

**Цель работы:** разработка методики прогнозирования долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов для повышения их надежности и эффективности эксплуатации в условиях горнодобывающего предприятия.

**Идея работы** заключается в использовании закономерностей изменения технического состояния крупногабаритной шины от условий эксплуатации для разработки методических основ прогнозирования их долговечности.

**Предмет исследований:** процессы изменения долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов в зависимости от эксплуатационных факторов на открытых горных работах.

Для достижения указанной цели сформулированы следующие задачи:

1. Провести анализ отказов и методов оценки долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов;

2. Оценить влияние эксплуатационных факторов на долговечность крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов;
3. Разработать методику прогнозирования долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов в условиях эксплуатации на открытых горных работах и провести ее промышленную апробацию.

**На защиту выносятся следующие научные положения:**

1. Долговечность крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов по тепловому состоянию определяется средней эксплуатационной скоростью движения, нагрузкой на шину, температурой окружающей среды, по механическим повреждениям - состоянием дорожного покрытия в зависимости от сезона года.
2. Естественный износ протектора крупногабаритной шины имеет линейную зависимость при усредненных значениях коэффициента сопротивления качению для определенного сезона года, в зависимости от величины уклона дороги, радиуса поворота, нагрузки на шину, температуры шины, скорости движения с доверительной вероятностью более 90%.

**Научная новизна работы:**

- установлена закономерность отказов крупногабаритных шин карьерных самосвалов от месяца в году, которая имеет полиномиальную зависимость четвертой степени с доверительной вероятностью не менее 90%;

- предложена методика по определению допустимых среднеексплуатационных скоростей движения по тепловому состоянию крупногабаритных шин на основе регрессионных моделей в зависимости от нагрузки на шину, температуры окружающей среды;

- установлены зависимости изменения естественного износа протектора крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов в зависимости от эксплуатационных факторов с учетом гистерезисных потерь в шине.

**Достоверность научных результатов** обеспечивается корректностью допущений при разработке методики прогнозирования долговечности крупногабаритных шин и достаточным объемом проведенных исследований на горнодобывающих предприятиях Кузбасса с использованием апробированных теоретических методик постановки экспериментов (исследования проводились более восьми лет на четырех угледобывающих предприятиях, характеризующихся разными условиями эксплуатации карьерной техники), положительными отзывами о внедрении результатов исследований на предприятиях: ООО «Вахрушевская автобаза», ЗАО «Прокопьевский угольный разрез» и ООО «Шахта №12».

**Теоретическая ценность** заключается в установлении зависимостей прогнозирования долговечности крупногабаритных шин от эксплуатационных факторов по следующим отказам: механическим повреждениям, тепловому разрушению и естественному износу протектора шины.

**Практическая ценность** заключается в использовании разработанной методики прогнозирования долговечности крупногабаритных шин для различных условий эксплуатации с целью повышения надежности и обеспечения управления учетом шин на горнодобывающем предприятии.

#### **Реализация результатов работы**

Результаты, полученные в ходе научно-исследовательской работы, находят практическое применение в образовательном процессе филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, внедрены и используются на угледобывающих предприятиях ООО «Вахрушевская автобаза», ЗАО «Прокопьевский угольный разрез» и ООО «Шахта №12» при разработке мероприятий, направленных на повышение срока службы крупногабаритных шин и формирования заявки на закупку новых шин.

**Методы исследований.** В работе, для решения поставленных задач, используются следующие методы:

- анализ научно-информационных источников по теме исследования;

- методики постановки экспериментальных исследований и сбора данных;
- методы математико-статистической обработки результатов исследования;
- методы математического моделирования при разработке моделей прогнозирования долговечности крупногабаритных шин.

**Личный вклад автора** заключается:

- в формулировке основной идеи работы;
- в выборе и обосновании факторов, оказывающих влияние на долговечность крупногабаритных шин;
- в определении методов и проведении исследований;
- в анализе полученных результатов и разработке методики прогнозирования долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов.

**Апробация работы.** Результаты проведенных исследований и основные положения диссертационной работы докладывались на Всероссийской научно-практической конференции «Россия молодая 2019» (Кемерово, 2019), VII Международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (Прокопьевск, 2014; 2020), Четвертом Международном инновационном горном симпозиуме (Кемерово, 2019), Международной научно-практической конференции «Неделя горняка – 2015; 2020; 2021» (Москва, 2015; 2020; 2021), IV международной научно-практической конференции «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы» (Новокузнецк, 2020).

**Публикации.** Автор изложил основные результаты работы в 20 публикациях, в том числе, в 6 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 1 статья, индексируемая в базах Scopus.

**Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий

объем работы составляет 124 страниц машинописного текста, включая список литературы из 116 наименований, 58 рисунков, 12 таблиц и четырех приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и идея работы, поставлены задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, а также научные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** произведена оценка влияния долговечности крупногабаритных шин на обеспечение надежности карьерных автосамосвалов и их место в структуре затрат на транспортировку горной массы. Установлено, что в общей структуре аварийных простоев крупногабаритные шины (КГШ) занимают шестое место и составляют порядка 7%, тогда как затраты на них достигают 9% в себестоимости транспортировки горной массы. Затраты времени на замену или ремонт крупногабаритных шин могут достигать 8 часов, без учета временных затрат на транспортировку автосамосвала к месту ремонта, что оказывает существенное влияние на надежность и, как следствие, на эффективность эксплуатации карьерных автосамосвалов в целом.

Проводится анализ причин снижения долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов в условиях эксплуатации горнодобывающего предприятия. Так, отказ крупногабаритных шин по причине полного износа рисунка протектора при достижении нормативного пробега считается нормальным, так как возможно продлить срок службы шины путем восстановления протектора. Остальные причины отказов крупногабаритных шин в эксплуатации, как правило, преждевременны (механические повреждения, тепловые разрушения и другие) и носят случайный характер.

Приводится аналитический обзор существующих методов прогнозирования и оценки долговечности шин. Оцениваются их



достоинства и недостатки. Как показал проведенный анализ, разработанные методики прогнозирования долговечности шин требуют дальнейшего усовершенствования и плохо применимы на горнодобывающем производстве. Большинство исследований в данной области проводились для шин легковых и грузовых автомобилей и в меньшей степени уделяется внимание крупногабаритным шинам карьерных автосамосвалов.

Во **второй главе** обосновывается выбор объектов исследований, которому подверглись крупногабаритные шины автосамосвалов моделей БелАЗ-7555 и БелАЗ-75131. Произведена разработка структурной модели на основе эксплуатационных отказов крупногабаритных шин с целью оценки влияния различных горно-геологических, дорожных и эксплуатационных факторов на долговечность шин карьерных автосамосвалов.

Установлено распределение отказов крупногабаритных шин по видам дефектов на угледобывающих предприятиях Кемеровской области-Кузбасс (рисунок 1).

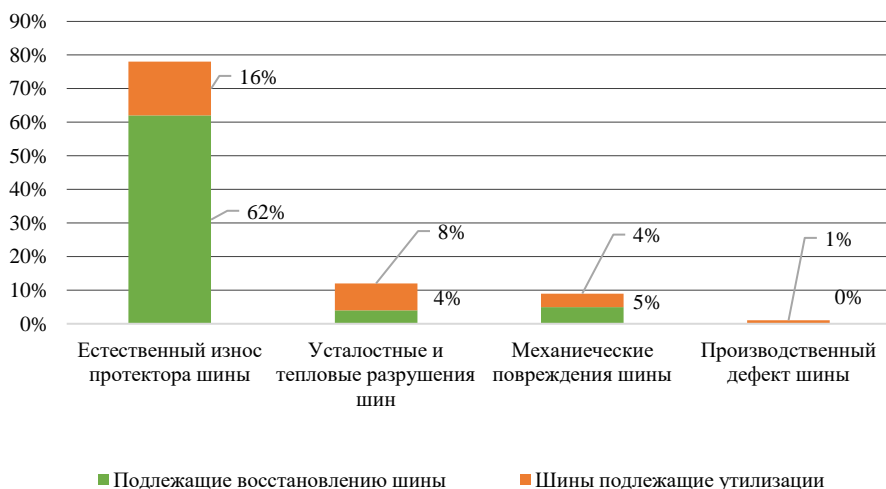


Рисунок 1 - Распределение отказов крупногабаритных шин по видам дефектов за 2015–2019 годы на предприятиях Кузбасса

Выборка статистических данных производилась на следующих угледобывающих разрезах: ООО «Разрез «Березовский», ООО «Шахта №12», ЗАО «Прокопьевский угольный разрез», ППО Разрез «Виноградовский» и горнотранспортном предприятии ООО «Вахрушевская автобаза». Перечисленные предприятия имеют отличные друг от друга производственные мощности и условия эксплуатации карьерных автосамосвалов.

Для повышения эффективности эксплуатации и надежности карьерных автосамосвалов, разработка методики прогнозирования долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов велась по основным видам эксплуатационных отказов: механическим повреждениям, тепловому разрушению и естественному износу рисунка протектора.

Уточнено влияние сезонов года на состояние технологических дорог угледобывающих предприятий, что в свою очередь, влияет на долговечность шин по механическим повреждениям (рисунок 2).

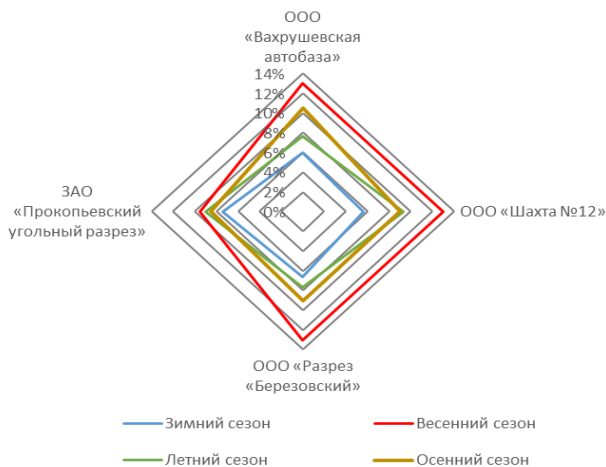


Рисунок 2 - Распределение отказов крупногабаритных шин по механическим повреждениям

На основании статистического анализа получена зависимость прогнозирования долговечности крупногабаритных шин по механическим повреждениям от сезонов года которая имеет следующий вид:

$$y = -0,0002x^4 + 0,0058x^3 - 0,0544x^2 + 0,2024x - 0,1338, \quad (1)$$

где  $x$  – месяца года.

Для повышения долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов по механическим повреждениям, были предложены мероприятия по улучшению дорожных условий.

Исследована динамика нагрева крупногабаритных шин в условиях эксплуатации и определены граничные условия исследования теплообразования в шине (рисунок 3).

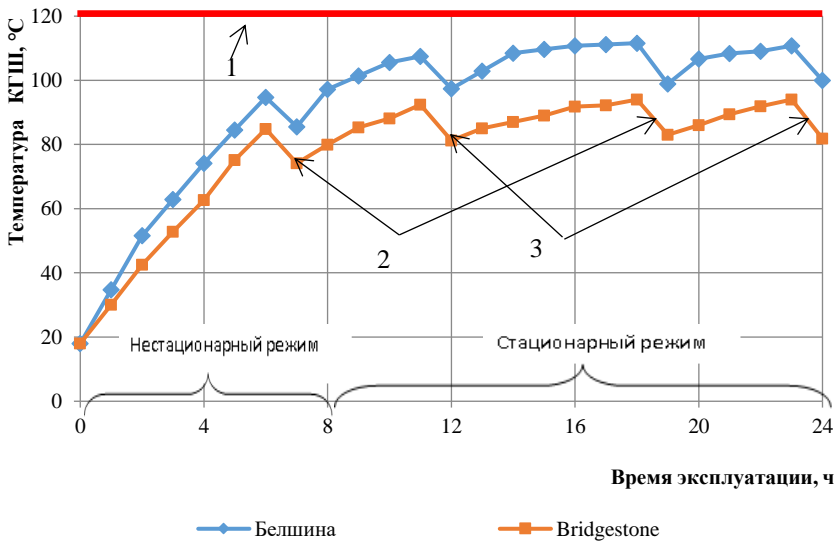


Рисунок 3 - Динамика нагрева пневматических шин задней оси автосамосвала БелАЗ-75131 в зависимости от времени эксплуатации при скорости движения автосамосвала  $V_{cp}=17$  км/ч и средней температуре окружающего воздуха  $t_{cp}=20$  °C: 1 – перерыв на обед; 2 – перерыв на перекуску

При стационарном режиме работы шины, суммарные величины теплообразования и теплоотдачи выравниваются, а температура в шине стабилизируется.

Получены регрессионные зависимости оценки теплового состояния крупногабаритных шин марок Белшина и Bridgestone для автосамосвалов БелАЗ-7555 и БелАЗ-75131 для стационарного режима.

БелАЗ-7555В (Белшина):

$$t_{шз.о} = 37,2 + 0,6t_{ср} + 0,097Q_{з.о}.V_{ср.} \quad (2)$$

$$t_{шп.о} = 22,5 + 0,6t_{ср} + 0,074Q_{п.о}.V_{ср.} \quad (3)$$

БелАЗ-7555В (Bridgestone):

$$t_{шз.о} = 35,4 + 0,6t_{ср} + 0,081Q_{з.о}.V_{ср.} \quad (4)$$

$$t_{шп.о} = 20,3 + 0,6t_{ср} + 0,064Q_{п.о}.V_{ср.} \quad (5)$$

БелАЗ-7513 (Белшина):

$$t_{шз.о} = 31,7 + 0,6t_{ср} + 0,101Q_{з.о}.V_{ср.} \quad (6)$$

$$t_{шп.о} = 26,5 + 0,6t_{ср} + 0,096Q_{п.о}.V_{ср.} \quad (7)$$

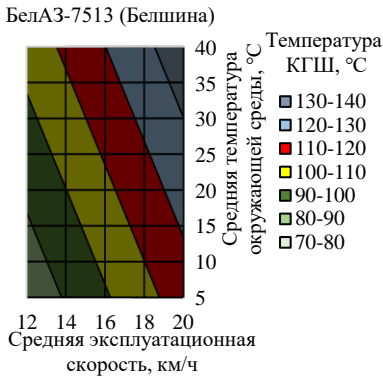
БелАЗ-7513 (Bridgestone):

$$t_{шз.о} = 30,1 + 0,6t_{ср} + 0,078Q_{з.о}.V_{ср.} \quad (8)$$

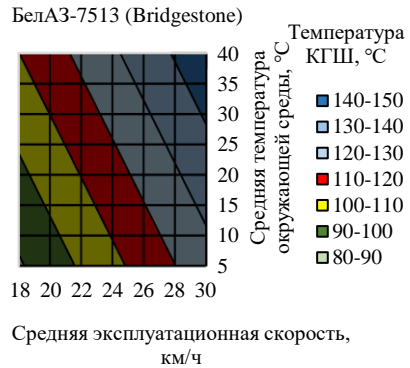
$$t_{шп.о} = 25,8 + 0,6t_{ср} + 0,076Q_{п.о}.V_{ср.} \quad (9)$$

где  $t_{шз.о.}$ ,  $t_{шп.о.}$  - температура шин соответственно задней и передней оси автосамосвала, °С;  $t_{ср}$  - средняя температура окружающего воздуха, °С;  $Q_{з.о.}$ ,  $Q_{п.о.}$  - средняя эксплуатационная масса, приходящаяся на шину соответственно задней и передней оси автосамосвала, т;  $V_{ср.}$  - средняя эксплуатационная скорость автосамосвала, км/ч.

Для снижения отказов крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов по теплообразованию на основе регрессионных зависимостей были установлены допустимые среднеэксплуатационные скорости в зависимости от нагрузки на шину, температуры окружающей среды и допустимой температуры шины, пример представлен на рисунках 4 и 5 для карьерного автосамосвала модели БелАЗ-75131. Адекватность результатов подтверждена экспериментально.



*Рисунок 4 - Определение допустимых среднеэксплуатационных скоростей движения автосамосвала с шинами фирмы Bridgestone*



*Рисунок 5 - Определение допустимых среднеэксплуатационных скоростей движения автосамосвала с шинами фирмы Белшина*

Разработана зависимость естественного износа рисунка протектора для пикета маршрута в зависимости от дорожных и эксплуатационных факторов на основе определения работы крупногабаритной шины через баланс мощностей:

$$I_i = \alpha \left( \frac{f \sqrt{R_x^2 + R_y^2}}{(1-f)} - \frac{\sigma A_{по} t_{ш}}{V_a} \right) S_i, \text{ мм} \quad (10)$$

где  $\alpha$  - износ материала, отнесенный к единице работы трения, мм/Н м;  $f$  - коэффициент сопротивления качению шины;  $R_x$  - продольная реакция в контакте шины с дорогой, Н;  $R_y$  - боковая реакция в контакте шины с дорогой, Н;  $\sigma$  - коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup> °С;  $A_{по}$  - площадь поверхности отвода теплоты от шины, м<sup>2</sup>;  $t_{ш}$  - температура шины, °С;  $V_a$  - скорость автомобиля, м/с;  $S_i$  - путь на  $i$ -ом участке пути, м.

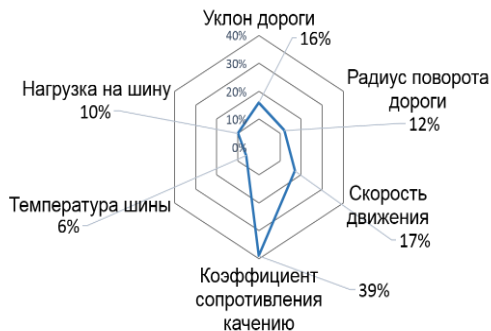
Тогда суммарный износ протектора шины на определенном маршруте:

$$\sum I = I_{1-2} + I_{2-3} + I_{3-4} + \dots + I_{i-i+1} \quad (11)$$

Величину  $\alpha$  определяем из условия нормативного пробега крупногабаритной шины и идеальных условий эксплуатации расчетным методом. Для определения сил и реакций, действующих на карьерный автосамосвал, воспользовались плоской расчетной схемой, приняв ряд допущений.

Установлено, что в рамках сезона года, естественный износ протектора крупногабаритных шин будет носить линейный характер. Определено, что износ крупногабаритных шин возрастает в летний период года по сравнению, с зимним, примерно на 16–20%, в переходные периоды года около 22–31%. Это связано с изменением состояния дорожного покрытия, которое ускоряет или замедляет естественный износ протектора крупногабаритных шин.

Расчетно-экспериментальным методом было установлено влияние дорожных и эксплуатационных факторов на естественный износ протектора крупногабаритных шин для управления ресурсом шин (рисунок 6)



— Степень влияния факторов на износ протектора КГШ

Рисунок 6 - Влияние эксплуатационных и дорожных факторов на износ протектора крупногабаритных шин

Наибольшее влияние на износ протектора крупногабаритных шин будет оказывать коэффициент сцепления колес с дорогой до 39%, тогда как влияние других факторов не превышает 6–17 %, что согласуется с результатами, полученными другими исследователями.

В третьей главе приводится описание методики проведения экспериментальных исследований. Дается описание используемого контрольно-измерительного оборудования для проведения испытаний, включающего контактный и бесконтактный термометры, систему контроля давления в пневматической шине «Pressure Pro». Средняя эксплуатационная скорость фиксировалась на основе системы «АСК – Мониторинг транспорта» через глобальную навигационную спутниковую систему ГЛОНАСС. Нагрузка на шину оценивалась при помощи электронных автомобильных карьерных весов ВАТ «БЕЛАЗ».

Перед проведением исследований теплового состояния шин и естественного износа протектора шин карьерных автосамосвалов проводилось взвешивание автосамосвала по осям как груженого, так и порожнего. Эти данные необходимы для уточнения статической нагрузки на шину и распределения нагрузки по осям автосамосвала.

Замеры установившейся температуры крупногабаритных шин проводились после наработки автосамосвалом не менее 10 часов пирометром Raytek-МТ6 в протекторной зоне пневматической шины. Снижение температуры за время остановки автосамосвала определялось на основе проведенных исследований расчетным путем. Одновременно с замерами температуры шин, производится измерение температуры окружающей среды при помощи контактного термометра.

Измерение износа протектора шины оценивалось измерением глубины рисунка протектора механическим индикатором с применением опорных площадок, имеющим наибольшую точность в условиях эксплуатации на горном предприятии.

Проверка полученных зависимостей на адекватность при исследованиях закономерностей долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов проводилось путем постановки вычислительного эксперимента на основании математического планирования. Данный подход позволяет существенно облегчить статистическую обработку и анализ полученных результатов. Для постановки эксперимента, на угледобывающем предприятии производился отбор маршрута работы автосамосвала и производилась оценка дорожных и горно-геологических условий. Составлялся профиль маршрута работы автосамосвала (рисунок 7).

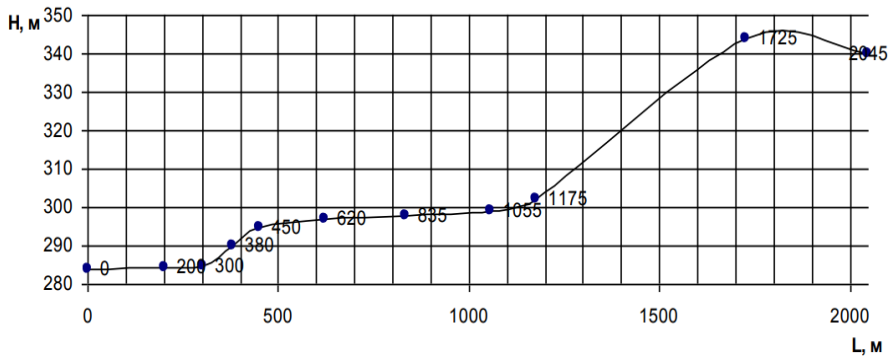


Рисунок 7 - Пример профиля исследуемого маршрута

Для оценки влияния эксплуатационных факторов на долговечность крупногабаритных использовался известный метод ортогонального центрального композиционного планирования. Исследовалось влияние независимых факторов на долговечность крупногабаритных шин в зависимости от причины отказа. Выбранные факторы удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к ним: управляемости, однозначности, совместимости и независимости. Выбор интервалов и шага варьирования каждого эксплуатационного фактора осуществлялась с учетом возможных режимов работы автосамосвала в условиях эксплуатации. Значения факторов в натуральном масштабе и соответствующие им кодированные



значения для матрицы планирования обрабатывались на персональном компьютере.

Для прогнозирования долговечности крупногабаритных шин по теплообразованию был поставлен трехфакторный вычислительный эксперимент, функция отклика описывается уравнением регрессионного вида:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 \quad (12)$$

где  $y$  - исследуемый показатель (температура шины), выраженный в кодированном виде;  $b_0$  – свободный коэффициент регрессии;  $X_i$  – независимые переменные (факторы);  $b_i$  – коэффициенты при независимых переменных.

Адекватность регрессионной модели проверялась по известной методике с использованием критерия Фишера. Сделан вывод, что полученные аналитические зависимости имеют сходимость результатов с экспериментальными данными, отклонения не превышают 10%, что свидетельствует о корректности выбранных факторов и сделанных допущениях.

В **четвертой главе** приводятся порядок разработки программного средства учета крупногабаритных шин карьерных самосвалов и оценки их долговечности по естественному износу протектора в условиях эксплуатации.

Анализ практической деятельности производственно-технических подразделений угледобывающих предприятий, отвечающих за транспорт, показал следующие недостатки в области учета и прогнозирования долговечности пневматических шин:

- отсутствие единой базы данных;
- учет ведется в программе Microsoft Excel;
- отсутствуют средства прогнозирования долговечности шин;
- планирование потребностей в пневматических шинах ведется на основе опыта отдельных специалистов путем сопоставления пробегов;

- заполнение большого количества электронных таблиц вручную;

- необходимость хранения большого количества документов для расчета итоговой отчетности;

- затруднен поиск данных.

Для более полного представления процесса учета движения шин на автотранспортных предприятиях, была построена бизнес-модель с помощью CASE – средства для проектирования информационной системы AllFusion ERwin Process Modeler.

Было разработано программное средство для учёта движения и оценки долговечности шин для конкретных условий эксплуатации, обеспечивающее повышение эффективности технологических процессов за счёт увеличения степени их автоматизации и возможности прогнозирования на значительный период времени, что повысит производительность работы по учету и планирования.

Были учтены требования по автоматизации следующих процессов: внесение и хранение данных об автомобилях, внесение и хранение данных о шинах, регистрация установки/снятия шин, внесение и хранение причин списания, оценка долговечности шин, списание шин и формирование акта о списании, просмотр актов о списании, внесение месячного пробега шины в базу, отображение информации о ходимости восстановленных шин, просмотр истории ремонта шин, просмотр пробега шин после ремонта, формирование накладной при выдаче шины со склада, внесение и хранение данных о пикетах, внесение и хранение данных о моделях шин, внесение и хранение данных о моделях автомобилей, разграничение прав доступа.

На основе требований был разработан алгоритм расчета остаточного ресурса крупногабаритной шины (рисунок 8).

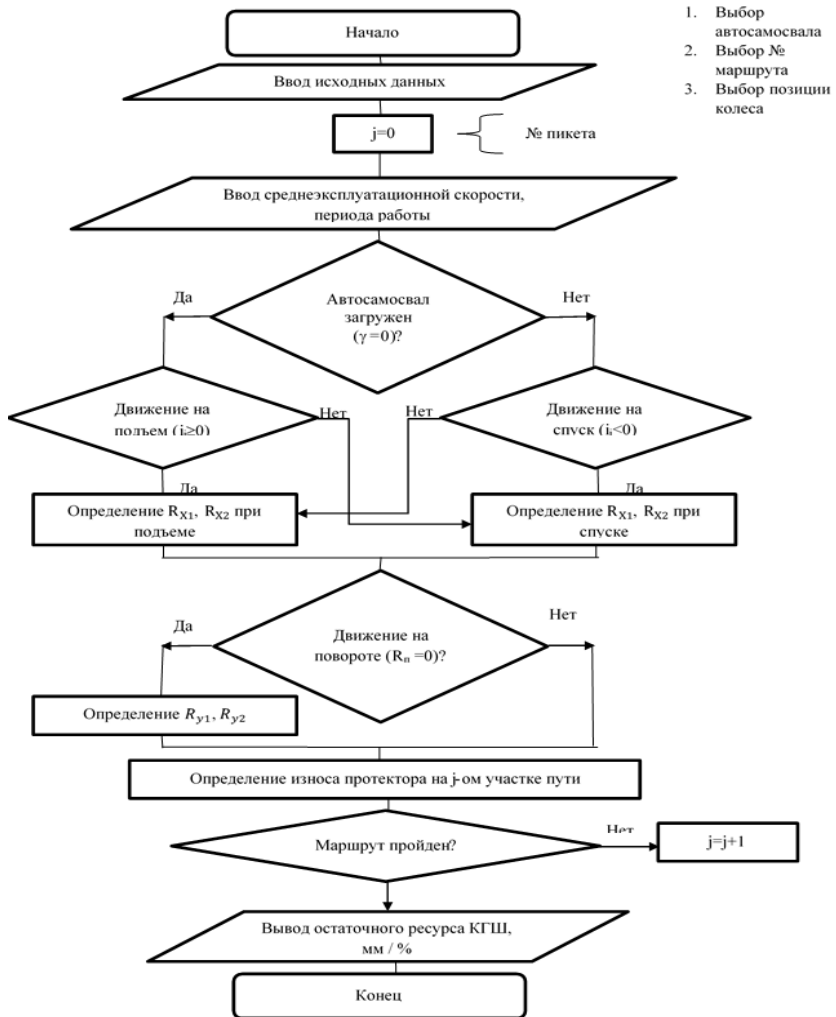


Рисунок 8 - Алгоритм расчета остаточного ресурса крупногабаритных шин

Разработанная информационная система позволяет уменьшить трудоемкость работы инженерно-технической службы горнодобывающего предприятия на основе прогнозирования остаточного ресурса крупногабаритных шин в зависимости от горно-геологических, дорожных и

эксплуатационных условий, автоматизировать учет движения крупногабаритных шин на предприятии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основе выполненного автором исследования решена актуальная научно-техническая задача, заключающаяся в разработке методики, позволяющей установить зависимость изменения состояния шин карьерных автосамосвалов от условий эксплуатации и прогнозировать их долговечность, применение которой обеспечит существенное повышение надежности и эффективности их использования на горнодобывающем предприятии.

Основные результаты научно-исследовательской работы сводятся к следующему:

1. Установлено, что случайные отказы шин по механическим повреждениям и тепловым разрушениям составляют порядка 21%, а среднее время на замену крупногабаритной шины, без учета транспортировки, может достигать 2,5 часа для автосамосвалов БелАЗ -7555 и 4 часа для БелАЗ-75131, таким образом, с учетом цен на крупногабаритные шины и трудоемкость шиномонтажных работ, требуется разработка методики прогнозирования долговечности шин по основным видам отказов с целью продления ресурса и снижения аварийных простоев.

2. Выполнен анализ методов оценки долговечности крупногабаритных шин карьерных самосвалов, и установлено, что наиболее эффективным является статистический метод, учитывающий горно-геологические, горнотехнические и эксплуатационные факторы по видам отказов.

3. Разработаны регрессионные зависимости, позволяющие определить допустимые среднеэксплуатационные скорости движения карьерных автосамосвалов БелАЗ-7555 и БелАЗ-75131 то по тепловому состоянию, на основании которых шины марки Bridgestone имеют средний резерв по скорости до 14% в

диапазоне температур от 5 до 20 °С, а шины марки Белшина эксплуатируются с превышением допустимых скоростей до 10%, что подтверждается экспериментально.

4. Установлено влияние дорожных и климатических условий на механические повреждения шин в зависимости от месяца года. Наибольшее число отказов приходится на переходные периоды года (март – апрель, октябрь – ноябрь) и превышает отказы в летний период до 7 %. Предложены мероприятия по улучшению дорожных условий для данных периодов года.

5. Получены аналитические выражения прогнозирования долговечности крупногабаритных шин по износу рисунка протектора с доверительной вероятностью 90%, которые позволяют установить влияние горно-геологических и эксплуатационных факторов и спрогнозировать полный ресурс шины для определенного маршрута работы карьерного автосамосвала. Доказано, что наибольшее влияние на естественный износ протектора шины до 39% оказывает коэффициент сопротивления движению, тогда как влияние других факторов не превышает 6–17 %.

6. Разработана методика, позволяющая учитывать влияние горно-геологических и эксплуатационных условий на ее работоспособность для повышения эффективности работы горнодобывающего предприятия путем управления движением самосвалов и планирования расхода шин.

7. Проведена промышленная апробация полученных результатов исследований на следующих угледобывающих предприятиях: ООО «Вахрушевская автобаза», ООО «Шахта №12», ЗАО «Прокопьевский угольный разрез».

Дальнейшие исследования влияния эксплуатационных факторов на долговечность крупногабаритных шин, будут проводится по следующей программе:

1. Исследование влияния различных способов охлаждения шины в процессе эксплуатации на ее долговечность.

2. Исследование физико-химических и конструктивных характеристик крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов на их долговечность.
3. Разработка модели термонапряженного состояния крупногабаритной шины для прогнозирования долговечности шин.

**Основные положения диссертации** опубликованы:

**в научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Горюнов, С.В. Прогнозирование эксплуатационной температуры пневматических шин карьерных автосамосвалов / С.В. Горюнов, В.М. Шарипов // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 2 (13), 2012. С. 112-121.

2. Горюнов, С.В. Функциональная модель прогнозирования долговечности шин карьерных автосамосвалов / С.В. Горюнов // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 2 (16), 2013. С. 149-154.

3. Горюнов, С.В. Исследование теплового состояния пневматических шин карьерных автосамосвалов / С.В. Горюнов, В.М. Шарипов // «Журнал ААИ» Научный рецензируемый журнал. – М., №3 (92), 2015. С. 6–10.

4. Горюнов, С.В. Исследование эксплуатационной температуры пневматических шин карьерных автосамосвалов / С.В. Горюнов, В.М. Шарипов, Г.М. Кутьков // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 3(25) т. 1, 2015. С. 16–22.

5. Горюнов, С.В. Прогнозирование долговечности пневматических шин карьерных автосамосвалов / С.В. Горюнов, В.М. Шарипов // Горный информационно-аналитический бюллетень Научный рецензируемый журнал. – М, ООО «Горная книга», 2015. № 11. С. 127–130.

6. Горюнов, С.В. Разработка методики оценки ресурса крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов / С.В. Горюнов,

А.А. Хорешок // Горное оборудование и электромеханика». Научный рецензируемый журнал, 2021 № 2 С. 3–9.

**в изданиях Scopus, Web of Science:**

7. Goryunov, S. The research of operational temperatures of dump trucks tires / S. Goryunov, A. Khoreshok, N. Grigoryeva, E. Preis, O. Alitkina // E3S Web of Conferences. The conference proceedings Sustainable Development of Eurasian Mining Regions: electronic edition. 2019. С. 01014DOI: 10.1051/e3sconf/201913401014.

**статьи в прочих изданиях:**

8. Горюнов, С.В. Применение расчетно-экспериментального метода для прогнозирования эксплуатационной температуры пневматических шин карьерных автосамосвалов / С.В. Горюнов, В.М. Шарипов // Материалы 77-ой международной конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». – М.: МГТУ «МАМИ», 2012. С. 45–51.

9. Горюнов, С.В. Тепловое состояние шин карьерных автосамосвалов в эксплуатации / С.В. Горюнов, В.М. Шарипов // Сборник научных работ VII Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, июль 2015). — М., ЕНО, 2015. С. 27–30.

10. Горюнов, С.В. Исследование тепловой нагруженности пневматических шин карьерных автосамосвалов в эксплуатации / С.В. Горюнов, В.М. Шарипов, М.Ю. Есеновский-Лашков, Е.В. Климова // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. В 5 частях. Под общей редакцией Ж.А. Шаповал «Современные тенденции развития науки и технологий», 2017. С. 65–73.

11. Горюнов, С.В. Прогнозирование ресурса крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов / С.В. Горюнов, А.А. Хорешок // Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», 2019. С. 10304.

12. Горюнов, С.В. Влияние дорожных условий на износ протектора крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов /

С.В. Горюнов, А.А. Хорешок // Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России», 2020. С. 152–156.

Личный вклад автора в работах, выполненных в соавторстве, заключается в следующем:

[1], [3-4], [7-10] – проведение экспериментальных исследований теплообразования в крупногабаритных шинах, обработка и анализ полученных результатов;

[2] – разработка структурной модели прогнозирования долговечности крупногабаритных шин;

[5-6], [11-12] – выполнение экспериментальных исследований, обработка полученных результатов по прогнозированию долговечности крупногабаритных шин по естественному износу протектора

Сверстано и отпечатано в филиале КузГТУ в г.  
Прокопьевске 653039, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а

Подписано в печать 29 апреля 2021 г. Формат 60x84/16.  
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 1,1 п.л.  
Тираж 105 экз. Заказ № 419.