УДК: 629.3.027.5

ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Истаблаев Февзи Фератович
старший научный сотрудник Навоийского отделения Академии наук Республики Узбекистан
Тел. +998 (97) 321-56-55
E-mail: fevzi_xkm@mail.ru
ORSID: 0000-0003-2808-6566
Атакулов Лазизжон Нематович
заведующий кафедрой «Горная электромеханика» Навоийского государственного горно-технологического университета, д.т.н., проф.
Тел.: +998 (93) 661-11-16,
E-mail: laziz218@mail.ru,
ORSID: 0000-0002-3561-8850.
Мадатов Тоймас Абсаломович
младший научный сотрудник Навоийского отделения Академии наук Республики Узбекистан.
Тел.: +998 (93) 434-34-32.

Аннотация. В статье проанализированы основные причины разрушения крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов, среди которых особое внимание уделено тепловым и усталостным повреждениям. Предложены методы мониторинга температуры внутри шин, включая расчет через давление, применение тепловизоров и автоматических систем контроля с датчиками.

Ключевые слова: горнодобывающая промышленность, карьерные самосвалы, крупногабаритные шины, износостойкость, тепловое разрушение, температурный контроль, перегрев шин, мониторинг температуры.

Annotatsiya. Maqolada karyer avtosamosvallarining katta o‘lchamli shinalarining ishdan chiqishining asosiy sabablari tahlil qilingan bo‘lib, ulardan issiqlik va charchoq shikastlanishlariga alohida e’tibor qaratilgan. Shina ichidagi haroratni monitoring qilish usullari, jumladan bosim orqali hisoblash, teplovizorlardan foydalanish va datchikli avtomatik nazorat tizimlarini qo‘llash taklif qilingan.

Kalit so’zlar: tog‘-kon sanoati, karyer avtosamosvallari, katta o‘lchamli shinalar, eyilishga bardoshlilik, issiqlik buzilishi, harorat nazorati, shinalarning haddan tashqari qizib ketishi, harorat monitoringi.

ISSN 3030-3907

Abstract. The article analyzes the main causes of failure in large-size tires of mining dump trucks, with special attention given to thermal and fatigue-related damages. Methods for monitoring the internal temperature of the tires are proposed, including pressure-based calculations, the use of thermal imaging cameras, and automated control systems equipped with sensors.

Keywords: mining industry, mining dump trucks, large-size tires, wear resistance, thermal failure, temperature control, tire overheating, temperature monitoring.

Введение

Разработка месторождений твердых полезных ископаемых, их добыча, переработка и обогащение представляет собой сложную цепочку технологических процессов, в котором транспортирование горной массы от места добычи до перегрузочного пункта либо непосредственно на завод для переработки занимает около половины от общих затрат на разработку месторождения. К примеру, в случае транспортирования горной массы автотранспортом в себестоимости транспортирования горной массы 50-60% затрат составляют затраты на автотранспорт, а по мере роста глубины карьера достигает 70 % [1, 2]. Поэтому важной задачей горнодобывающей отрасли является снижение эксплуатационных затрат, связанных с транспортировкой добытого сырья.

В современных горнодобывающих предприятиях основные способы транспортировки полезных ископаемых включают автомобильный, железнодорожный и конвейерный транспорт. Среди них автомобильный получил наиболее широкое распространение благодаря таким преимуществам, как высокая маневренность, способность преодолевать большие уклоны и мобильность.

На месторождениях твердых полезных ископаемых, разрабатываемых горно-металлургическими предприятиями Республики Узбекистан и производителями строительных материалов, из автомобильного транспорта эксплуатируют карьерные самосвалы марок «БелАЗ» (Беларусь), «Cat» или «Caterpillar» (США), «Komatsu» (Япония), в последние годы также применяют «XCMG» (КНР).

При использовании автосамосвалов затраты на шины составляют от 25 до 30% и более от общей суммы транспортных расходов [3, 4, 5]. Следовательно, продление срока службы крупногабаритных шин является важным фактором для уменьшения эксплуатационных издержек.

Долговечность крупногабаритных шин карьерных самосвалов обычно определяется сроком их службы до полного износа рисунка протектора или выхода из строя из-за разрыва каркаса и расслоения протектора. Основными причинами недоиспользования ресурса шин являются естественный износ

ISSN 3030-3907

протектора, усталостные и тепловые разрушения (отслоение протектора, расслоение корда, повреждение боковин и другие дефекты), механические повреждения (порезы, проколы, разрушение грунтозацепов и т. д.), а также производственные дефекты, не выявленные при заводском контроле качества.

Согласно исследованиям [1], проведенным на филиале «Кедровский угольный разрез» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» (Российская Федерация), среди перечисленных факторов наибольший интерес представляют усталостные и тепловые разрушения, которые относятся к управляемым причинам преждевременного износа шин и составляют около 15% от их общего количества. Они происходят из-за перегрева шин. По этой причине при эксплуатации крупногабаритных шин необходимо контролировать температурный режим, обеспечивая его нахождение в оптимальном диапазоне.

В летний период повышенная температура окружающей среды приводит к ускоренному разрушению шин [3]. Статистика выше приведена для Кедровского угольного разреза, расположенного в Кемеровской области России, где минимальная и максимальная температура в июле составляет от +14,4 до +23,9ºС [6] в то время, как в Центрально-Кызылкумском горнорудном районе Узбекистана, где, в том числе, находится крупнейший в мире золоторудный карьер Мурунтау, этот показатель составляет от +22,7 до +34,8ºС, а иногда днем может достигать +51ºС [6, 7]. Соответственно, подобные исследования актуальны для Узбекистана именно для крупногабаритных шин карьерных самосвалов.

Резкие перепады температур внутри крупногабаритных шин вызывают образование в них микротрещин, способствующих быстрому высыханию резины и ускоренному износу всей конструкции шины [8].

Следовательно, предотвращение перегрева крупногабаритных шин - одна из важных задач эксплуатации карьерного автотранспорта. В этом вопросе актуальным является контроль температуры внутри шины.

Методы и материалы. Научная литература содержит многочисленные исследования, посвященные вопросам износостойкости шин и увеличения их эксплуатационного ресурса. Влияние различных факторов на ходимость автомобильных шин и их нормируемый срок службы исследовалось Э.К.Абдуллаевым, В.Ф.Бабковым, Б.Л.Бухиным, В.Г.Варченко, С.В.Горюновым, В.П.Ковальчуком, А.Г.Кульпиным, О.В.Лебедевым, Е.Ф.Непомнящим, Р.Х.Рахимовым, В.А.Топалиди, А.А.Шермухамедовым, У.Б.Юсуповым, C.S.Baker, R.H.Bacon, P.S.Grinchuk, S.P.Fisenko, L.Segel, S.K.Clark, M.K.Verma и другими.

ISSN 3030-3907

Несмотря на различия в методологических подходах и инструментах исследования, все работы объединяет стремление к совершенствованию эксплуатационных характеристик шин. Их состояние играет ключевую роль в обеспечении управляемости автотранспортного средства, его ходовых качеств, устойчивости и комфортности. При этом свойства шин напрямую зависят от их конструктивных особенностей, физико-механических характеристик используемых материалов, а также условий эксплуатации и срока службы.

Ходимость крупногабаритных шин зависит от множества условий, а для выявления наиболее значимых и влияющих на это проведено априорное ранжирование факторов с экспертами из трех разных групп. Одна группа состояла из научных сотрудников, другая - из руководящего состава транспортных предприятий, а третья включала в себя водителей транспортных средств со стажем более 10 лет. Участники всех трех групп, независимо друг от друга выделили десять основных факторов, влияющих на износ шин. В тройке лидеров оказались давление в шинах, рабочая температура в них и развал схождения [2]. Следовательно, рабочая температура шин является одним из ключевых факторов, определяющих их надежность и долговечность.

Зависимость износостойкости крупногабаритных шин от их теплового состояния объясняется использованием при их производстве материалов и адгезивных составов, чувствительных к высоким температурам. В процессе эксплуатации карьерных самосвалов нередко наблюдается критическое повышение температуры шин. Это связано с низкой интенсивностью их охлаждения, что обусловлено особенностями конструкции, в частности, значительной толщиной шинного каркаса.

Особенно актуальна эта проблема в летний период, когда средний эксплуатационный ресурс крупногабаритных шин существенно сокращается. Согласно статистическим данным ООО «Разрез Березовский» (Россия) в автосамосвалах БелАЗ 75306 до 70% отказов шин летом вызваны именно тепловыми разрушениями. Их последствиями могут стать разрывы корда и даже возгорание шины. Для современных бескамерных шин критическим температурным порогом считается 120 °С. Дальнейшее повышение температуры приводит к потере прочности корда, снижению его адгезии с резиной и развитию дефектов, таких как расслоение каркаса, вздутие и отслоение протектора [5].

Экспериментальные данные, полученные в ходе исследований технологического транспорта, эксплуатируемого в карьере Амантай (Узбекистан), позволили определить зависимость влияния изменения

ISSN 3030-3907

температуры окружающей среды на интенсивность износа шин. Установлено, что при температуре воздуха выше 30 °С перегрев шин, вызванный недостаточной эффективностью отвода тепла, неизбежно приводит к образованию внутренних отслоений, особенно в плечевой зоне шин [9].

Исследователями [1] также установлено, что температура крупногабаритных шин зависит и от средней эксплуатационной скорости движения карьерного самосвала и коэффициента использования грузоподъемности. При изменении температуры шины от +24 ℃ до 105 ℃ первый параметр варьировался от 8 до 18 км/ч, а второй - от 0,7 до 1,1.

В исследовании [3], проведенном при средней скорости движения карьерного самосвала 17 км/ч и температуре окружающего воздуха 20 °С, проанализирована динамика нагрева «холодных» шин в первые 10 часов эксплуатации. Установлено, что в течение этого периода температура шин достигает максимальных значений, особенно в моменты загрузки и разгрузки автосамосвала. В этих условиях шины не успевают остыть, что приводит к их перегреву и ускоренному тепловому разрушению. Подобные процессы негативно отражаются на экономических показателях предприятий, занимающихся открытой добычей полезных ископаемых.

Результаты и их обсуждение. Таким образом, влияние температуры на усталостное разрушение шин подтверждается многочисленными исследованиями. Большинство из них объясняет этот процесс тем, что при длительном воздействии высоких температур происходит снижение прочностных характеристик резины, а также ухудшение ее сцепления с кордом. В местах, где адгезия ослабевает наиболее сильно, возникает механическое трение между кордом и резиной, что дополнительно ускоряет нагрев и, как следствие, приводит к быстрому разрушению шины. По этой причине усталостные разрушения, вызванные воздействием высокой температуры, также классифицируются как тепловые разрушения [5].

Для детального анализа факторов нагрева шин необходимо учитывать особенности их работы (см. рис. 1). В положении 1 – шина не нагружена. В положении 2 – по мере вращения, боковины изгибаются и начинается образование тепла внутри шины. В положении 3 – в пятне контакта происходит максимальное выделение тепла. В положении 4 – образование тепла постепенно уменьшается до возвращения в исходное положение [10].

ISSN 3030-3907

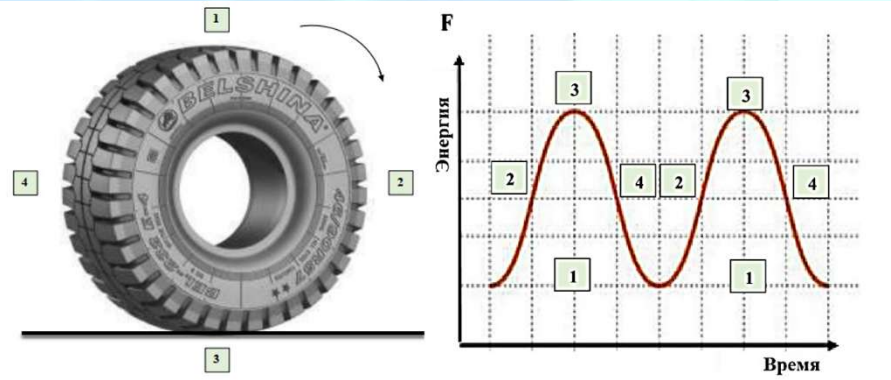


Рис. 1. Работа шины при вращении

Повышение скорости движения самосвала увеличивает частоту циклов деформации шины, что способствует ускоренному накоплению тепла и повышает вероятность теплового разрушения конструкции. Эксплуатация шин в условиях повышенных деформаций, вызванных несоответствующими рабочими параметрами — сниженным давлением, превышением допустимой нагрузки или скорости — существенно увеличивает риск разрушения каркаса.

При критическом перегреве резиновая смесь может вступить в стадию пиролиза, сопровождающуюся выделением горючих газов, что значительно повышает вероятность взрывоопасного разрушения шины [10].

Многочисленные исследования подтверждают, что температура оказывает значительное влияние на усталостное разрушение шин. В связи с этим одной из приоритетных задач становится организация непрерывного контроля температурного режима внутри крупногабаритных шин. Рассмотрим несколько возможных методов.

1. Использование тепловизора.

Для изучения воздействия температуры на эксплуатационные свойства шин были проведены экспериментальные исследования [3], в ходе которых анализировались температурные параметры нагрева исследуемого образца и изменение твердости протектора, соотнесенное с этими параметрами. Ввиду сложности получения образцов крупногабаритных шин испытания проводились на резине легковых автомобилей. Температурные измерения осуществлялись с помощью тепловизора, а определение твердости — игольчатым твердомером. Каждый образец предварительно нагревался до заданной температуры в электропечи.

Результаты эксперимента подтвердили зависимость твердости протектора от температуры, что является важным аспектом при анализе ходимости и эксплуатационной надежности шин. Однако определение рабочего диапазона температур для крупногабаритных шин карьерных

ISSN 3030-3907

самосвалов остается актуальной задачей как с научной, так и с практической точек зрения.

В данном эксперименте, а также в исследовании тепловой нагруженности безопасных колес [11], тепловизоры использовались для оценки динамики нагрева шин в зависимости от времени эксплуатации. Однако данные исследования не охватывали крупногабаритные шины карьерных самосвалов, что ограничивает возможность их применения к данной категории шин.

Кроме того, метод тепловизионного контроля требует участия внешнего наблюдателя, так как тепловизор предназначен для визуального отображения температурного распределения на исследуемой поверхности. Хотя этот способ эффективен для сбора данных, он не обеспечивает непрерывного мониторинга температуры в реальном времени, что снижает его практическую применимость в условиях эксплуатации карьерного транспорта.

Тем не менее, теоретически постоянный контроль тепловизором может производить водитель карьерного самосвала, данные могут поступать непосредственно в кабину, где ему необходимо будет их отслеживать. Другой вариант - работу по сбору и анализу данных может производить диспетчер автопарка горнодобывающего предприятия, который при обнаружении по камерам видеонаблюдения перегрева шин, сообщать об этом водителю самосвала.

2. Расчет температуры через давление.

Определить температуру воздуха внутри шины можно посредством вычислений, основанных на данных измерения внутреннего давления, с использованием формулы, выведенной из закона Бойля-Мариотта:

$$T_2 = (P_2 + 101{,}3) / (P_1 + 101{,}3) \bullet (T_1+273) - 273$$

где T_1 – температура воздуха в «холодной» шине, равная температуре окружающей среды, °C;

P_1 – давление воздуха в «холодной» шине, соответствующее рекомендуемому значению, кПа;

P_2 – давление воздуха в «теплой» шине, измеряемое в процессе работы, кПа;

T_2 – температура воздуха в «теплой» шине, °C.

Поскольку вычисленная температура воздуха внутри шины (T_2) оказывается ниже температуры резиновой смеси, предельно допустимое значение температуры не должно превышать 85 °C. При превышении этого порога карьерный самосвал необходимо остановить, выявить и устранить

ISSN 3030-3907

причину повышения температуры (например, перегруз или превышение скорости) [10].

То есть, в данном случае отправной точкой является измерение давления внутри шины, которое считается ключевым параметром для самосвалов. От правильного давления зависят не только комфорт и управляемость техники, но и долговечность шин, элементов подвески, расход топлива и даже тормозной путь, что критично для безопасности движения.

При завышенном давлении основное изнашивание наблюдается в центральной части шины, а при пониженном – в плечевой зоне. Любое отклонение давления от нормы приводит к сокращению срока службы шины. Это особенно ощутимо при езде с шинами с пониженным давлением (см. рис. 2). Кроме того, снижение давления на 20% вызывает увеличение расхода топлива на 20%, а чрезмерное давление, хотя и может снижать расход топлива, существенно повышает риск выхода из строя осей, ремонт или замена которых обуславливают дополнительные затраты [12].

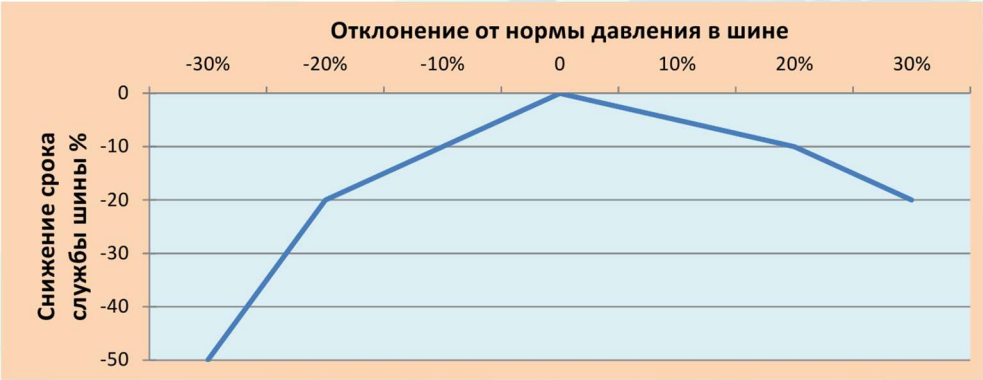


Рис. 2. Зависимость срока службы шины от внутреннего давления

Контроль давления в шинах самосвалов является необходимым условием их безопасной эксплуатации. На предприятиях предусмотрена периодическая проверка давления, осуществляемая водителем с использованием механического манометра. Стандартная практика предполагает проведение измерений дважды в сутки — при смене экипажа и при полной остановке транспортного средства.

Однако на практике выполнение регламентных требований затрудняется. Водители часто сталкиваются с ограниченным доступом к вентилям, их техническими неисправностями или неблагоприятными погодными условиями. В осенне-зимний период возможна замерзание вентильного оборудования, а если вентиль не выведен на внешнюю сторону, доступ к внутренней части колеса становится затруднительным [12].

Дополнительная проверка давления в рамках технического осмотра проводится с высокой точностью, но ее периодичность не обеспечивает постоянного контроля. Эффективный мониторинг давления необходим в

ISSN 3030-3907

режиме реального времени, особенно во время движения, поскольку основные нарушения целостности шин происходят в процессе эксплуатации, а не на стоянке. Измерение давления механическим манометром в движении невозможно, что обуславливает необходимость внедрения автоматизированных систем контроля.

3. Автоматический контроль давления и температуры.

Разработаны различные автоматизированные системы контроля давления и температуры воздуха в шинах, позволяющие осуществлять их непрерывный мониторинг в процессе эксплуатации самосвала. Такие системы обеспечивают своевременное обнаружение потери давления или перегрева, предотвращая выход шин из строя. В ОАО «Белшина» рекомендуют применение данных систем, поскольку их использование повышает надежность и безопасность эксплуатации транспортных средств [10].

Принцип работы автоматизированных систем контроля заключается в непрерывном сборе и анализе данных, поступающих с датчиков давления и температуры. При включении зажигания самосвала система начинает считывать показатели и передавать их в основной блок управления через заданные интервалы времени. Эти показатели сравниваются с установленными допустимыми значениями, определяемыми либо производителем транспортного средства, либо пользователем. Если измеренные параметры соответствуют норме, система функционирует в режиме пассивного наблюдения, при этом текущие значения температуры и давления в каждом колесе выводятся на экран устройства. В случае превышения предельно допустимых значений активируется звуковой или визуальный сигнал тревоги, информирующий водителя о необходимости принятия мер. Одновременно на экране отображается информация о характере и локализации отклонений.

Датчики давления и температуры, используемые в таких системах, подразделяются на внутренние и внешние. Внутренние датчики встраиваются непосредственно в шину, что требует проведения шиномонтажных работ, однако обеспечивает надежную защиту измерительных элементов от внешних воздействий. Внешние датчики устанавливаются на стандартные ниппели шин и не требуют дополнительного монтажа, но при этом остаются подверженными влиянию окружающей среды, что может снижать их надежность [13].

Таким образом, третий вариант, то есть автоматический контроль давления и температуры является наиболее приемлемым в современных

ISSN 3030-3907

реалиях, но, тем не менее, для каждой марки карьерного самосвала необходим индивидуальный подбор необходимого оборудования.

Выводы. Перегрев крупногабаритных шин карьерных самосвалов является одной из основных причин их преждевременного износа, что приводит к увеличению эксплуатационных затрат. Критическая температура шин (120°C и выше) способствует разрушению корда, расслоению протектора и ухудшению эксплуатационных характеристик. Одним из ключевых факторов, влияющих на температурный режим шин, является сочетание скорости движения самосвала, нагрузки и давления в шинах. Для предупреждения перегрева шин предлагается использовать автоматический контроль давления и температуры. Внедрение системы мониторинга температуры шин позволит снизить вероятность их разрушения, увеличить срок службы и уменьшить эксплуатационные издержки горнодобывающих предприятий.

Контроль температуры внутри шин – одна из задач настоящего исследования. Следующий шаг – разработка методов и технологий по предотвращению перегрева крупногабаритных шин карьерных самосвалов.

Производители шин рекомендуют периодически останавливать карьерные самосвалы для охлаждения шин. В частности, «Белшина» рекомендует производить остановку транспорта на 30 минут после каждых 80 км пути или 2 часа непрерывного движения либо на 1 час после каждых 4 часов эксплуатации.

Однако в современных условиях такие меры оказываются неэффективными с экономической и эксплуатационной точек зрения. Полный останов карьерного самосвала для охлаждения шин приводит к простоям, что увеличивает затраты. Кроме того, в условиях жаркого засушливого климата эффективность естественного охлаждения снижается. Увеличение парка самосвалов для чередования работы также сопряжено с дополнительными расходами. Поэтому необходимо искать более эффективные методы предотвращения перегрева шин.

На данном этапе рассматриваются три основных варианта решения этого вопроса. Первый – конструктивное совершенствование шин, второй – подбор оптимального состава газовой смеси для накачивания шин, третий - дополнительная термоизоляция внутренней поверхности шин.

Требуется проведение дополнительных исследований, результаты которых планируется публиковать в последующих статьях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кульпин А.Г., Стенин Д.В., Кульпина Е.Е. Исследование потока отказов крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов // Вестник Кузбасского

ISSN 3030-3907

государственного технического университета. 2017. № 6, С.162-167. DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-1-162-167.

2. Абдулаев Э.К., Махараткин П.Н., Кужелев А.И., Атрощенко В.А. Априорное ранжирование и анализ факторов, влияющих на износ шин // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. Вып. 1(57). С. 164-169. https://doi.org/10.21440/2307-2091-2020-1-164-169.

3. Абдулаев Э.К., Махараткин П.Н., Кошкина Е.П., Пумпур Е.В. Экспериментальные исследования зависимости влияния температуры шины на ее свойства // «Горная Промышленность» №3 (145) / 2019. С. 98-99. http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2019-3-145-98-99.

4. Горюнов С.В. Функциональная модель прогнозирования долговечности шин карьерных автосамосвалов // Известия МГТУ «МАМИ» №2 (16), 2013, т. 1. С. 149-154.

5. Мухитдинов А.А., Юсупов У.Б. Оценка влияния продольного уклона карьерных дорог на ресурс крупногабаритных шин // Механика ва технология илмий журнали, Т-2023, №2 (11). С. 92-103.

6. Climate Data, n.d. (from Climate Data website: https://en.climate-data.org/).

7. Wardell Armstrong. Аудит минеральных ресурсов и оценка рудных запасов золоторудных месторождений Мурунтауского кластера, Узбекистан. 2024 (from Wardell Armstrong website: www.wardell-armstrong.com).

8. Ларионов В.С., Мирзаев Н.Н., Хасанов А.С., Санакулов Р.Б. Определение нормы пробегов шин большегрузных автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях АО АГМК // “Scientific foundations of raising the use of information technologies to a new level and modern problems of automation” III-international scientific conference. November 20, 2024. P. 702-705. https://doi.org/10.5281/zenodo.14221296.

9. Юсупов У.Б., Мухитдинов А.А., Тухтамишов С.С. Влияние температуры окружающей среды на интенсивность износа шин // Miasto Przyszłości. Vol. 31 (2023). С. 293-299.

10. Руководство по эксплуатации карьерных и индустриальных шин радиальной и диагональной конструкции. Белшина-2024. 49 с (from belshina website: https://www.belshina.by/cn/about-company/dlya-potrebitelya).

11. Еремин Г.П., Карташов А.Б., Смирнов А.А. Экспериментальное исследование тепловой нагруженности безопасных колес // Известия высших учебных заведений. Машиностроение №4 (661), 2015. С. 49-56.

12. Кучумова А. Совершенно здоровые шины // «Добывающая промышленность» №4 (16). 2019. (https://dprom.online/mtindustry/sovershenno-zdorovye-shiny/).

ISSN 3030-3907

13. Волосюк А. Контроль давления в шинах при помощи Wialon. 09.07.2015 (https://wialon.com/ru/blog/kontrol-davlenia-v-sinah-pri-pomosi-wialon).

ISSN 3030-3907