

Для работы электромеханической системы также требуется установка дополнительного генератора и накопителя энергии из расчета расхода энергии 5,54 кДж на одно переключение передачи в КП.

При массовом производстве и небольшой серии автомобилей, требующих автоматизации переключения передач без разрыва потока мощности, целесообразно использовать электромеханическую систему и КП традиционной конструкции, не требующих создания новой, оригинальной КП и двухпоточной двойной муфты сцепления.

Наиболее полное использование мощности, отсутствие циркуляции мощности в трансмиссии, повышение плавности переключения передач в трансмиссии с однопоточным сцеплением и электродвигателем возможно за счет оптимизации законов управления электродвигателем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора № 9905/17/07 к 12 между ОАО «КАМАЗ» и «Московским государственным техническим университетом имени Н.Э. Баумана».

Литература

1. <http://kirovets.ptz.com/>
2. Барский И.Б., Борисов С.Г., Галягин В.А. и др. Сцепления транспортных и тяговых машин / Под ред. Ф.Р. Геккера, В.М. Шарипова, Г.М. Щеренкова. – М.: Машиностроение, 1989. – 344 с.
3. Шарипов В.М., Апелинский Д.В., Арустамов Л.Х. и др. Тракторы. Конструкция/ Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Машиностроение, 2012. – 790 с.
4. Шарипов В.М., Бирюков М.К., Дементьев Ю.В. и др. Тракторы и автомобили/ Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010. – 351 с.
5. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. – М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
6. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
7. http://clubflyer.ru/wp-content/uploads/images/4308_n31.jpg
8. http://www.kamaz.ru/production/serial/bortovye_avtomobili/kamaz_4308_r4/
9. <http://orionmotor.narod.ru/motors.htm>

Исследование эксплуатационной температуры пневматических шин карьерных автосамосвалов

Горюнов С.В., д.т.н. проф. Шарипов В.М., д.т.н. проф. Кутьков Г.М.
Университет машиностроения, РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева,
(495) 223 05 23, доб. 1111, trak@mami.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние температуры протектора шины на долговечность пневматических шин карьерных автосамосвалов. Приведены результаты исследований характера нагрева пневматических шин в процессе эксплуатации. Методом статистической обработки экспериментальных данных получены регрессионные модели исследуемых многофакторных процессов.

Ключевые слова: пневматическая шина, карьерный автосамосвал, теплообразование в шине, температура нагрева, эксплуатационная скорость, вертикальная нагрузка на шину, высота грунтозацепа.

Дальнейшая интенсификация горнодобывающей промышленности России заключается в открытом способе добычи полезных ископаемых, как наиболее производительном, экономичном и безопасном. Применение открытого способа предопределило использование и развитие технологического автомобильного транспорта, которым перевозится около 80% горной массы, а эффективность самого способа в значительной мере определяется производительностью автомобильного транспорта. В настоящее время на угледобывающих предприятиях Кемеровской области эксплуатируются карьерные автосамосвалы грузоподъемностью от 45 до 220 тон. Наибольшую эффективность в технологическом процессе по добыче угля

показали автосамосвалы БелАЗ 7555 и БелАЗ 75131 грузоподъемностью 55 и 130 тонн соответственно.

Повышение производительности технологического автомобильного транспорта ставит перед шинной промышленностью задачи по расширению ассортимента и улучшению качества карьерных шин различных типов и моделей. Эти шины сложны по конструкции и трудоемки в изготовлении, оказывая значительные эксплуатационные затраты до 30% и более от суммы расходов на транспортирование ими горной массы [1]. Большие габариты, высокий коэффициент нагруженности требуют увеличения нормы слойности, что наряду с глубоким рисунком протектора и высокой его насыщенностью определяют одну из основных особенностей работы карьерных пневматических шин – повышенное теплообразование и высокие эксплуатационные температуры [2 – 4]. В связи с этим в качестве одного из основных параметров, определяющих долговечность и работоспособность шин, интенсивность их работы принята эксплуатационная температура. Другой важной особенностью работы карьерных пневматических шин, является специфичность условий их эксплуатации в карьерах, в которых дороги, как правило, низшего типа. Они построены на скальном основании с подсыпкой щебня из разрабатываемых вскрышных пород. Жесткие дорожные условия эксплуатации, высокие эксплуатационные температуры, климатические условия и другие факторы приводят к интенсивному износу протектора, механическим повреждениям и тепловым разрушениям шин (см. рисунок 1).

Анализ результатов эксплуатации карьерных автосамосвалов показал, что долговечность шин существенно зависит от температуры их нагрева [2 – 4]. Для современных бескамерных шин критической считается температура 120°C. Нередко генерация температур в карьерных пневматических шинах, достигает максимума, обусловленного тем, что у них низкая интенсивность охлаждения. Это продиктовано особенностью конструкции шины, имеющей большую толщину. В результате тепловых разрушений может произойти разрыв корда или возгорание пневматической шины, что создаёт опасность для жизни и здоровья водителей и близко находящихся людей [2 – 4]. Причем тепловое состояние шин напрямую связано с естественным износом рисунка протектора. Все выше перечисленное свидетельствует об актуальности исследований долговечности пневматических шин карьерных автосамосвалов по параметру эксплуатационных температур.



Рисунок 1. Тепловое разрушение пневматической шины автосамосвала БелАЗ 75131 (отслоение протектора)

Как видно из рисунка 2 процесс нагрева автомобильной шины обусловлен рядом причин, основными из которых являются:

- гистерезисные потери в шине;
- внешнее трение шины о поверхность дорожного покрытия;
- воздействие на поверхность шины солнечной радиации.

Для подавляющего большинства эксплуатационных режимов, в которых работает шина, теплообразование от деформации и внутреннего трения составляет в среднем 85...95%, от внешнего трения от 5 до 15%. Исключение составляет движение юзом, пробуксовка и

приложение к колесу крутящих моментов, значительно превышающих максимальный момент по сцеплению, где основной причиной теплообразования в шине является ее внешнее трение о поверхность дороги. Однако такие режимы в реальной эксплуатации автосамосвалов реализуются достаточно редко и в основном в период распутицы при движении на подъеме.

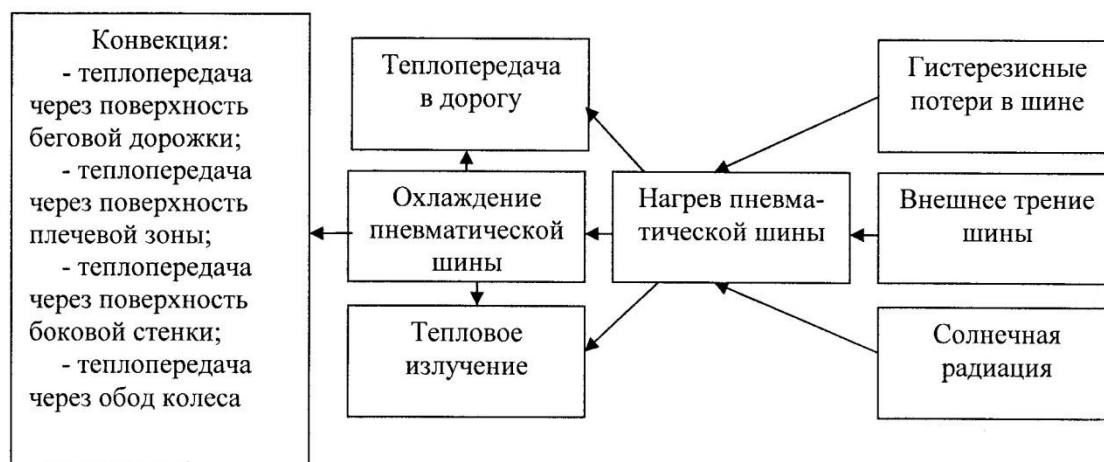


Рисунок 2. Схема теплообразования в пневматической шине и ее теплообмен с окружающей средой

Солнечная радиация оказывает влияние на нагрев шины только в наиболее жаркое время года. При этом температура отдельных участков шины, освещенных солнцем, может увеличиваться на 10...15°C по сравнению с поверхностью шины, находящейся в тени.

Часть теплоты, генерируемой в массиве катящейся шины, непрерывно отводится в окружающую среду (см. рисунок 2). Причем, если в начале движения температура шины равна температуре окружающей среды и теплообразование значительно больше теплоотдачи, то через определенное время суммарные величины теплообразования и теплоотдачи выравниваются, а температура в шине стабилизируется (стационарный режим).

Исследования теплового состояния пневматических шин карьерных автосамосвалов проводилось в условиях работы угольных предприятий Кемеровской области. Температурные измерения выполнялись с помощью портативного неконтактного термометра (пирометра) Raytek MT6 [2].

Основное теплообразование в шине происходит в зоне ее контакта с опорной поверхностью. На элемент шины в такой зоне действуют максимальные величины и скорости изменения деформаций: нормальной, окружной и боковой.

Установлено, что наибольшее количество теплоты, отнесенное к единице объема, выделяется в середине брекерного слоя шины и на его краях, а общая величина теплообразования в шине распределяется по ее основным элементам в среднем так:

- протектор (включая подканавочный слой) – около 50 %;
- каркас – от 12 до 33 %;
- брекерный слой – от 7 до 15 %;
- боковины и примыкающий к ним борт – от 5 до 25 %.

Результаты обработки экспериментальных исследований эксплуатационных температур пневматических шин приведены на рисунках 3 и 4.

На рисунке 3 представлены установившиеся эксплуатационные температуры пневматических шин задней оси, при средней температуре окружающего воздуха $t_{cp} = 20...23^{\circ}\text{C}$ и равных условиях эксплуатации.

Как видно из рисунка 3, установившиеся эксплуатационные температуры пневматических шин в зависимости от завода изготовителя отличаются. Это связано в первую очередь с конструкцией шины и ее эластичностью. Стоит отметить, что эксплуатационные температуры пневматических шин фирм Bridgestone и Goodyear, Белшина и Eurotire практически сопо-

ставимы между собой. В ходе исследования было выявлено, что пневматические шины автосамосвала БелАЗ 75131 дополнительно нагреваются от редуктора мотор колеса.

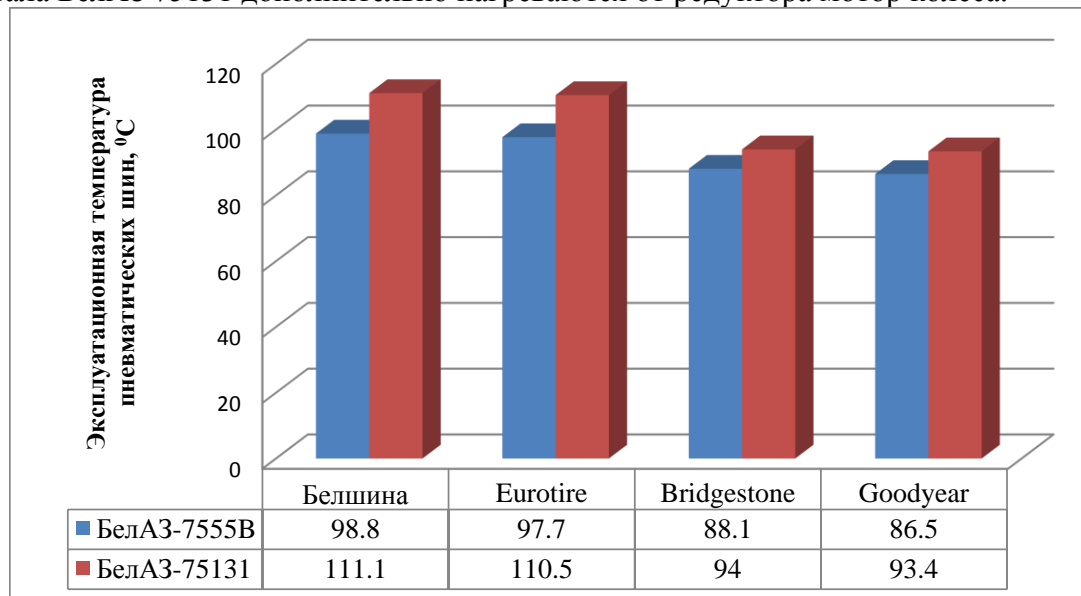


Рисунок 3. Установившиеся эксплуатационные температуры пневматических шин

Из анализа проведенных исследований пневматических шин размерности 33.00R51 модели Бел 162 (см. рисунок 4) следует, что наиболее интенсивный рост их температур имеет место в первые 8 часов эксплуатации карьерных автосамосвалов БелАЗ 75131, а в последующее время температура увеличивается не более, чем на $1...5^{\circ}\text{C}/\text{ч}$. При работе автосамосвалов происходит переменный разогрев и охлаждение шин в связи с остановками под погрузку и разгрузку, перерывами на обед и пересменку.

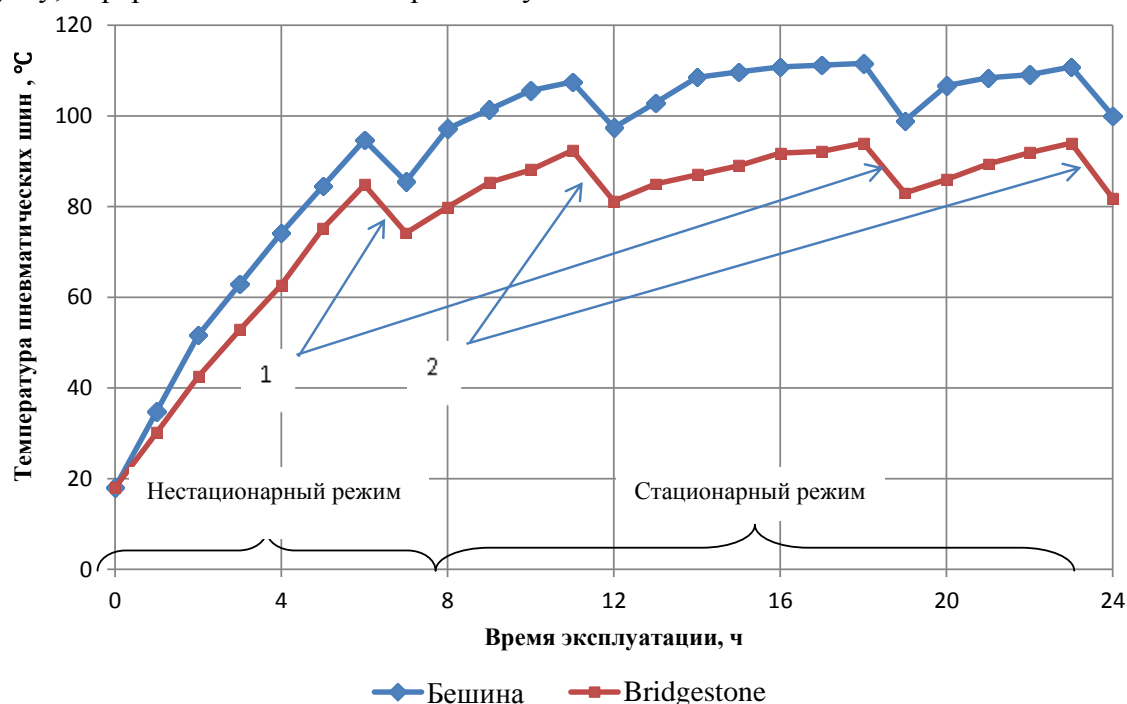


Рисунок 4. Динамика нагрева пневматических шин задней оси автосамосвала БелАЗ 75131, в зависимости от времени эксплуатации при скорости движения автосамосвала $V_{\text{ср}}=17$ км/ч и средней температуре окружающего воздуха $t_{\text{ср}}=20^{\circ}\text{C}$: 1 – перерыв на обед; 2 – перерыв на пересменку

Установлено, что шина при температуре окружающего воздуха $20...25^{\circ}\text{C}$ охлаждается примерно за 10 часов отстоя автосамосвала. При этом, в первые 4 часа отстоя автосамосвала скорость охлаждения шины составляет $10...12^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, а в дальнейшем она снижается до

5,0...6,7°C/ч. Динамика нагрева пневматических шин автосамосвала БелАЗ 7555В имеет схожий характер.

Задача определения первопричин появления тепловых отказов является одной из наиболее важных проблем, решаемых при организации на современном уровне эксплуатации крупногабаритных шин и автосамосвалов. Способы решения этих задач могут быть самыми разными, но в любом случае необходимо получить корреляционные соотношения температуры в зависимости от конкретных условий эксплуатации с учетом степени износа протектора шин. Без этих знаний оптимизация режимов движения автосамосвалов невозможна.

К эксплуатационным факторам, оказывающим существенное влияние на тепловое состояние шин, относятся [1–3, 5–10]:

- средняя за транспортный цикл радиальная нагрузка на шину;
- эксплуатационная скорость автосамосвала;
- температура окружающего воздуха;
- внутреннее давление воздуха в шине.

Известно, что ходимость шин при прочих равных условиях зависит от нагрузки и степени соответствия ей значения давления воздуха в шине [5–10].

Внутреннее давление и грузоподъемность шины взаимосвязаны. Чем больше нагрузка на шину, тем выше должно быть внутреннее давление, чтобы выдержать эту нагрузку. Хотя шины эксплуатируют в соответствии с данными в каталогах грузоподъемностью и внутренним давлением воздуха, точное значение внутреннего давления в шине должно определяться в каждом отдельном случае ее эксплуатации.

Анализ стандартов и каталогов ведущих фирм, производящих пневматические шины, свидетельствует о том, что с увеличением нормы слойности, повышают внутреннее давление воздуха в шине. Установлено, что величина внутреннего давления воздуха в шине для конкретной нагрузки у фирм отличается. Видимо, они получены расчетом или путем экспериментальных исследований для конкретной конструкции шины и условий ее эксплуатации.

В качестве основных факторов, в наибольшей степени определяющих тепловое состояние крупногабаритных шин, выберем три:

- среднюю за транспортный цикл радиальную нагрузку на шину;
- эксплуатационную скорость карьерного автосамосвала;
- температуру окружающего воздуха.

Эти факторы независимы, универсальны, количественны, имеют физический смысл и легко варьируются. Внутреннее давление в пневматической шине мы рассматривать не будем, так как это полностью управляемый фактор и в настоящее время контролируется в карьерных автосамосвалах при помощи системы контроля давления в пневматической шине «Pressure Pro». Особое внимание необходимо уделять работе сдвоенных колес задней оси. При разности давлений в шинах сдвоенного колеса на 10%, температура шины с наибольшим давлением может превышать 16%.

Экспериментальными исследованиями установлено, что при максимальной нагрузке 392 000 Н на шину размерности 33.00R51 модели Бел 162 с увеличением скорости движения с 10 до 15 км/ч температура шины увеличивается на 32,9% при незначительном увеличении на 6% давления в ней воздуха [5]. Превышение допустимых эксплуатационных скоростей автосамосвалов приводит к тепловым отказам шин вследствие эксплуатационных причин. При соблюдении рекомендуемых режимов эксплуатации эти виды отказов будут определяться производственными причинами, т.е. недостаточным уровнем качества изготовления. Это подтверждает существенное влияние скорости движения автосамосвала на нагрев его шин.

Экспериментальные данные по массе, приходящейся на шины соответствующей оси карьерного автосамосвала БелАЗ в эксплуатации, определялись путем весового контроля, а средняя скорость его движения путем хронометража работы автосамосвала с фиксацией скорости и сопоставлением ее с показаниями системы ГЛОНАСС. Информация о давлении воздуха в каждой шине каждого карьерного автосамосвала поступала в диспетчерский пункт

предприятия через глобальную навигационную спутниковую систему ГЛОНАСС.

Технологический автотранспорт на угольных предприятиях Кемеровской области в подавляющем большинстве использует пневматические шины таких производителей как Белшина и Bridgestone.

Воспользовавшись программой Statistica 6.0 и методом Гаусса с погрешностью $\pm 3,9\%$ получены корреляционные зависимости максимальной установившейся температуры задних и передних шин автосамосвалов.

Для БелАЗ 75131 с шинами Белшина:

$$t_{\text{ш.о.}} = 31,7 + 0,6t_{\text{ср}} + 0,101Q_{3.0} \cdot V_{\text{ср.э}}; \quad t_{\text{ш.п.о.}} = 26,5 + 0,6t_{\text{ср}} + 0,096Q_{\text{п.о.}} \cdot V_{\text{ср.э}}$$

Для БелАЗ 75131 с шинами Bridgestone:

$$t_{\text{ш.о.}} = 30,1 + 0,6t_{\text{ср}} + 0,078Q_{3.0} \cdot V_{\text{ср.э}}; \quad t_{\text{ш.п.о.}} = 25,8 + 0,6t_{\text{ср}} + 0,076Q_{\text{п.о.}} \cdot V_{\text{ср.э}}$$

Для БелАЗ 7555В с шинами Белшина:

$$t_{\text{ш.о.}} = 37,2 + 0,6t_{\text{ср}} + 0,097Q_{3.0} \cdot V_{\text{ср.э}}; \quad t_{\text{ш.п.о.}} = 22,5 + 0,6t_{\text{ср}} + 0,074Q_{\text{п.о.}} \cdot V_{\text{ср.э}}$$

Для БелАЗ 7555В с шинами Bridgestone:

$$t_{\text{ш.о.}} = 35,4 + 0,6t_{\text{ср}} + 0,081Q_{3.0} \cdot V_{\text{ср.э}}; \quad t_{\text{ш.п.о.}} = 20,3 + 0,6t_{\text{ср}} + 0,064Q_{\text{п.о.}} \cdot V_{\text{ср.э}}$$

Здесь $t_{\text{ш.п.о.}}$ и $t_{\text{ш.о.}}$ – температура шин соответственно передней и задней оси автосамосвала, °С; $t_{\text{ср}}$ – средняя температура окружающего воздуха, °С; $Q_{\text{п.о.}}$ и $Q_{3.0}$ – средняя эксплуатационная масса, приходящаяся на шины соответственно передней и задней оси автосамосвала, т; $V_{\text{ср.э}}$ – средняя эксплуатационная скорость автосамосвала, км/ч.

Большинство зарубежных фирм для оценки теплового состояния шин используют показатель ТКВЧ. Методологически экспериментальные исследования были построены таким образом, чтобы по результатам испытаний имелась возможность оценки теплового состояния по этому показателю.

По полученным зависимостям можно определить допустимые эксплуатационные скорости автосамосвалов.

Для оценки влияния высоты грунтозацепов шины на её нагрев в эксплуатации были проведены экспериментальные исследования, результаты которых приведены на рисунке 5.

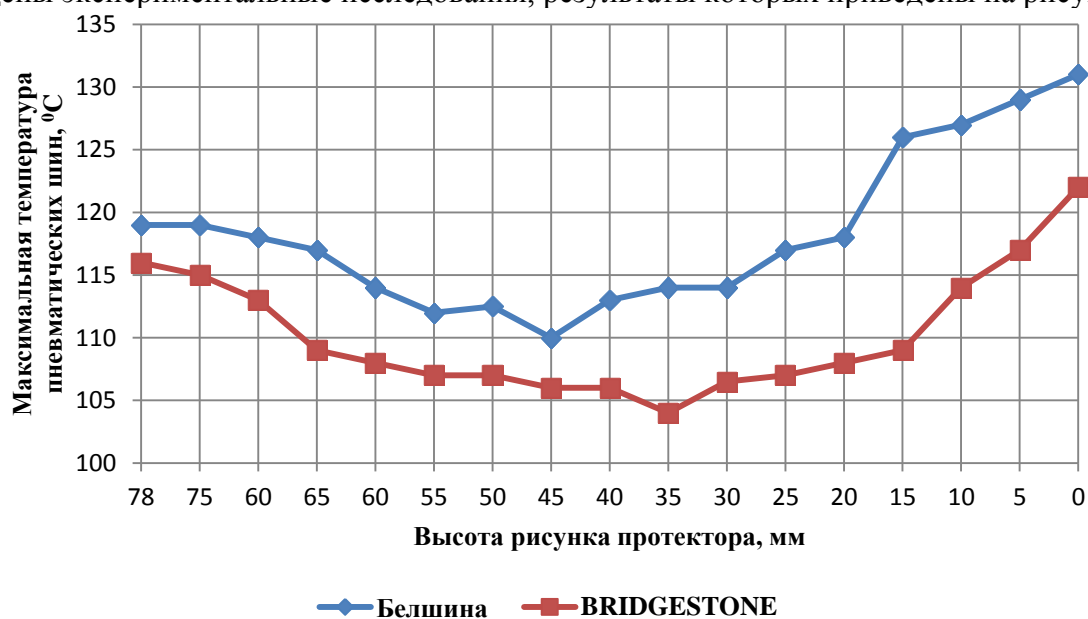


Рисунок 5. Влияние высоты грунтозацепов на максимальную температуру пневматических шин автосамосвала БелАЗ 75131

Экспериментальные исследования проводились с пневматическими шинами размерности 33.00 R51 модели Бел 162 фирмы ОАО «Белшина» и фирмы Bridgestone на автосамосва-

лах БелАЗ 75131. Перед началом испытаний замерялась высота грунтозацепов шины. Испытания проводились с новыми, частично изношенными и полностью изношенными (лысыми) шинами. Установлено, что в процессе эксплуатации шин на карьерном автосамосвале в зависимости от величины их износа изменяется температура нагрева шин (см. рисунок 5). В процессе изнашивания шин их температура нагрева сначала уменьшается до определённой величины, а далее увеличивается. Более высокому нагреву подвергаются полностью изношенные (лысые) шины. При этом шины фирмы Bridgestone подвергаются меньшему нагреву по сравнению с аналогичными шинами модели Бел 162 фирмы ОАО «Белшина». Очевидно, что это связано с меньшими гистерезисными потерями в шинах фирмы Bridgestone.

Сопоставление результатов экспериментальных исследований по нагреву пневматических шин с результатами расчётов по полученным регрессионным зависимостям показало, что погрешность не превышает 6,5 % для автосамосвалов БелАЗ 75131 и 5,2% для автосамосвалов БелАЗ 7555В. Следовательно, полученные регрессионные зависимости можно использовать для оценки максимальных установившихся температур нагрева пневматических шин карьерных автосамосвалов в процессе эксплуатации и определению средних эксплуатационных скоростей их движения.

Литература

1. Горюнов С. В., Шарипов В. М. Прогнозирование эксплуатационной температуры пневматических шин карьерных автосамосвалов // Леса России и хозяйство в них. – 2013. № 1–2 (42–43). – С. 32–34.
2. Горюнов С.В., Шарипов В.М. Исследование теплового состояния пневматических шин карьерных автосамосвалов // Журнал автомобильных инженеров. 2015. № 3(92). – С. 6–10.
3. Шарипов В.М., Горюнов С.В. Тепловое состояние шин карьерных автосамосвалов в эксплуатации // Евразийское научное объединение. – 2015. Т. 1. №7(7). – С. 27–30.
4. Нечипоренко А.Г. Особенности конструкции и основные направления в области производства сверхкрупногабаритных шин // НИИ КГШ ЦНИИТЭ нефтехим. М., 1984. С. 3–13.
5. Медведицков С.И., Кормаз А.И. Исследование зависимости температуры и внутреннего давления воздуха в сверхкрупногабаритной шине от времени проведения испытаний // Журнал автомобильных инженеров. – 2014. №5 (88). – С. 25–27.
6. Кнороз В.И. Работа автомобильной шины. – М.: Транспорт, 1976. – 338 с.
7. Кнороз В.И., Кленников Е.В. Шины и колёса. – М.: Машиностроение, 1975. – 184 с.
8. Гуслицер Р.Л., Глушкина Л.С. Зависимость температуры легковых шин от условий движения // Каучук и резина. – 1969. № 9. – С. 43–45.
9. Мороз Т.Г. Исследование теплового состояния шин 155/13 для автомобилей «Жигули» ВАЗ 2101: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1974. – 27 с.
10. Глушкина Л.С. Исследование тепловых режимов работы автомобильных шин в дорожных условиях: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1982. – 204 с.

Определение коэффициента полезного действия перистальтического насоса линейного типа

Гришин А.И., д.т.н. проф. Шейпак А.А., к.т.н. доц. Чичерюкин В.Н.

Университет машиностроения
8(915)386 58 71, foxmcloud@rambler.ru

Аннотация. Разработан метод определения теоретического значения коэффициента полезного действия насоса перистальтического типа с линейно расположенной рабочей трубкой. Для определения деформаций сжимаемой трубки был использован метод конечных разностей. Полученная система уравнений была решена с помощью метода нижней релаксации. Также были проведены экспериментальные исследования. Показано, что значения КПД, рассчитанные по разработанной методике значительно больше, чем полученные экспериментально, и раз-