

УДК 629.113

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

С. В. Горюнов, асп. / В. М. Шарипов, д. т. н., проф.

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

Ведущее место в горнодобывающей промышленности России занимает открытый способ добычи полезных ископаемых как наиболее производительный, экономичный и безопасный. Причём в ближайшей перспективе он сохранит своё доминирующее положение. Удельный вес добычи угля открытым способом в России составляет около 42 %, а в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах уже превышает 50 % и, как показывает статистика, продолжает расти.

При открытом способе добычи полезных ископаемых широко используются карьерные автосамосвалы различной грузоподъёмности. Себестоимость добычи полезных ископаемых открытым способом существенно зависит от производительности карьерных автосамосвалов, которая напрямую связана с долговечностью пневматических шин.

Характерными причинами отказов пневматических шин карьерных автосамосвалов при эксплуатации являются [1]:

- производственные дефекты, которые не были обнаружены при выходном контроле шин на заводе-изготовителе;
- механические повреждения (порезы, проколы, сколы грунтозацепов и др.);
- усталостные и тепловые разрушения (отслоение протектора, боковин, расслоение корда и др.);
- естественный износ протектора.

Анализ результатов эксплуатации карьерных автосамосвалов показал, что долговечность шин существенно зависит от температуры их нагрева [2]. Для современных бескамерных шин критической считается температура 120 °С.

При более высоких температурах шина будет разрушаться вследствие снижения прочности корда и его связи с резиной, развития таких дефектов, как отслоение, вздутие протектора и расслоение кар-

каса [3]. Существенное влияние температуры на усталостное разрушение шин подтверждается многими исследователями [4–8]. В большинстве выполненных исследований это объясняется тем, что при работе шины, в массиве которой длительное время поддерживается высокая температура, происходит резкое снижение как прочности самой резины, так и адгезии её с кордом. При этом в местах наибольшего снижения адгезии возникает механическое трение между кордом и резиной, что дополнительно вызывает резкое повышение температуры и в конечном счёте быстрое разрушение автомобильной шины. В связи с этим усталостные разрушения автомобильных шин, обусловленные воздействием высокой температуры, часто называют ещё и тепловыми разрушениями шин.

Разработчикам шин и автомобилей важно знать максимальную рабочую температуру шины в заданных условиях эксплуатации автомобиля, так как от неё зависят срок службы шины и предел допускаемой скорости движения.

Эксплуатационные затраты на шины карьерных автосамосвалов составляют 25... 30 % и более от суммы расходов на транспортирование ими горной массы [2], поэтому прогнозирование теплового состояния шин карьерных автосамосвалов является важной и актуальной задачей.

Оценка теплового состояния пневматических шин карьерных автосамосвалов проводилась в условиях работы угольных предприятий Кемеровской области. Анализ нагрева шин в процессе эксплуатации производился по пятнадцати карьерным автосамосвалам модели БелАЗ-75131 грузоподъёмностью по массе 130 т.

Температурные измерения выполнялись с помощью портативного неконтактного термометра (пирометра) Raytek-МТ6 (рис. 1). Точность измерения пирометром Raytek-МТ6 не зависит от расстояния до измеряемого объекта до тех пор, пока размер объекта меньше поля зрения объекта. Это связано с тем, что измеряемый объект не заполняет всё поле зрения прибора, и поэтому он принимает излучение от других объектов окружающей среды, которое оказывает влияние на точность измерения.



Рисунок 1. Пирометр Raytek-MT6

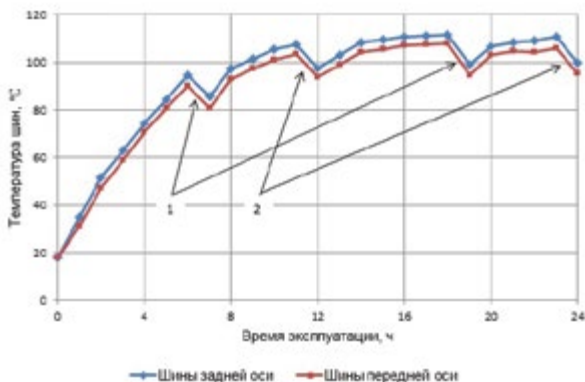


Рисунок 2. Динамика нагрева шин в зависимости от времени эксплуатации при скорости движения автосамосвала  $V_{ср} = 17$  км/ч и средней температуре окружающего воздуха  $t_{ср} = 20$  °C: 1 — перерыв на обед; 2 — перерыв на пересменку

Результаты обработки экспериментальных исследований в процессе эксплуатации пневматических шин размерности 33.00 R51 модели Бел-162 производства ОАО «Белшина» на карьерных автосамосвалах БелАЗ-75131 приведены на рис. 2.

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

Установлено, что наибольшее количество теплоты, отнесённое к единице объёма шины, выделяется в середине брекерного слоя шины и на его краях, а общая величина теплообразования в шине распределяется по её основным элементам следующим образом:

- 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 %.

Из анализа проведённых исследований пневматических шин размерности 33.00 R51 модели Бел-162 (см. рис. 2) следует, что наиболее интенсивный рост их температур имеет место в первые десять часов эксплуатации карьерных автосамосвалов БелАЗ-75131, а в последующее время температура увеличивается не более чем на 1... 3 °C/ч. При работе автосамосвалов происходят попеременно разогрев и охлаждение шин в связи с остановками для погрузки и разгрузки, перерывами на обед и пересменку.

Установлено, что шина при температуре окружающего воздуха 20... 25 °C охлаждается примерно за десять часов отстоя автосамосвала. При этом в первые четыре часа отстоя автосамосвала скорость охлаждения шины составляет 10... 12 °C/ч, а в дальнейшем она снижается до 5,0... 6,7 °C/ч.

К эксплуатационным факторам, оказывающим существенное влияние на тепловое состояние шин, относятся [2, 4–8]:

- 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 [4–8].

Внутреннее давление и грузоподъёмность шины взаимосвязаны. Чем больше нагрузка на шину, тем выше должно быть внутреннее давление, чтобы выдержать эту нагрузку. Хотя шины эксплуатируют в соответствии с указанными в каталогах грузоподъёмностью и внутренним давлением воздуха, точное значение внутреннего давления в шине должно определяться в каждом отдельном случае её 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 расчётом или путём экспериментальных исследований для конкретной конструкции шины и условий её 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.









*Рисунок 3.* Система контроля давления в пневматической шине Pressure Pro

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, который в настоящее время контролируется в карьерных автосамосвалах при помощи системы контроля давления в пневматической шине Pressure Pro, представленной на рис. 3.

Экспериментальными исследованиями установлено, что при максимальной нагрузке 392 000 Н на шину размерности 33.00 R51 модели Бел-162 с увеличением скорости движения с 10 до 15 км/ч температура шины увеличивается на 32,9 % при незначительном увеличении на 6 % в ней давления воздуха [9]. Это подтверждает существенное влияние скорости движения автосамосвала на нагрев его шин.

Экспериментальные данные по массе, приходящейся на шины соответствующей оси карьерного автосамосвала БелАЗ-75131 в эксплуатации, определялись путём весового контроля (рис. 4), а средняя скорость его движения — путём хронометража работы автосамосвалов с фиксацией скорости и сопоставлением её 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.

Особое внимание было уделено тепловому состоянию шин сдвоенных колёс задней оси автосамосвала, так как работа шин сдвоенного колеса имеет свои особенности. Установлено, что при 10%-й разнице давлений в шинах сдвоенного колеса температура шины с большим давлением может на 16 % превышать температуру в шине с меньшим давлением.

*Рисунок 4.* Весовой контроль карьерного автосамосвала БелАЗ-75131

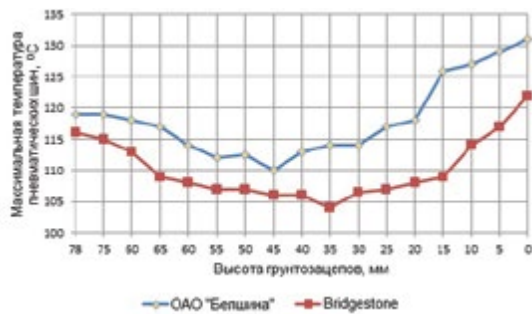


Рисунок 5. Влияние высоты грунтозацепов на максимальную температуру пневматических шин автосамосвала БелАЗ-75131

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены регрессионные зависимости для определения температуры нагрева шин передней и задней осей автосамосвала:

$$t_{\text{ш.п.о.}} = 26,5 + 0,6t_{\text{ср}} + 0,172Q_{\text{п.о.}}V_{\text{ср.э}}^2$$

$$t_{\text{ш.з.о.}} = 31,7 + 0,6t_{\text{ср}} + 0,148Q_{\text{з.о.}}V_{\text{ср.э}}^2$$

где  $t_{\text{ш.п.о.}}$ ,  $t_{\text{ш.з.о.}}$  — температура шин соответственно передней и задней осей автосамосвала, °C;  $t_{\text{ср}}$  — средняя температура окружающего воздуха, °C;  $Q_{\text{п.о.}}$ ,  $Q_{\text{з.о.}}$  — средняя эксплуатационная масса, приходящаяся на шины соответственно передней и задней осей автосамосвала, т;  $V_{\text{ср.э}}$  — средняя эксплуатационная скорость автосамосвала, км/ч.

Полученные зависимости позволяют прогнозировать допустимые эксплуатационные скорости движения карьерного автосамосвала и вертикальные нагрузки на шины исходя из критической температуры пневматической шины и температуры окружающего воздуха.

Для оценки влияния высоты грунтозацепов шины на её нагрев в эксплуатации были проведены экспериментальные исследования, результаты которых приведены на рис. 5. Экспериментальные исследования проводились с пневматическими шинами размерности 33.00 R51 модели Бел-162 фирмы ОАО «Белшина» и фирмы Bridgestone на автосамосвалах 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. рис. 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 размерности 33.00 R51 с результатами расчётов по полученным регрессионным зависимостям показало, что при установке на карьерный автосамосвал БелАЗ-75131 шин фирмы Bridgestone при высоте грунтозацепов в диапазоне 20... 78 мм (см. рис. 5) расхождение между результатами расчётов и данными экспериментальных исследований не превышает 6,5 %.

Следовательно, полученные регрессионные зависимости можно использовать для оценки температуры нагрева шин различных производителей для карьерных автосамосвалов БелАЗ-75131.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Горюнов С. В. Функциональная модель прогнозирования долговечности шин карьерных автосамосвалов // Известия МГТУ «МАМИ». — 2013. — № 2 (16). — Т. 1. — С. 149–153.
2. 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.
3. Бродский Г. И., Евстратов В. Ф., Сахновий Н. Л., Слюдинов А. Д. Истирание резин. — М.: Химия, 1957. — 240 с.
4. Кнороз В. И. Работа автомобильной шины. — М.: Транспорт, 1976. — 338 с.
5. Кнороз В. И., Кленников Е. В. Шины и колёса. — М.: Машиностроение, 1975. — 184 с.
6. Гуслицер Р. Л., Глушкина Л. С. Зависимость температуры легковых шин от условий движения // Каучук и резина. — 1969. — № 9. — С. 43–45.
7. Мороз Т. Г. Исследование теплового состояния шин 155-13 для автомобилей «Жигули» ВАЗ-2101: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1974. — 27 с.
8. Глушкина Л. С. Исследование тепловых режимов работы автомобильных шин в дорожных условиях: дис. ... канд. техн. наук. — М., 1982. — 204 с.
9. 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.