электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Экспериментальное исследование контакта, сопротивления качению и саморазогрева массивной шины при обкатке на барабанном стенде

 # 12, декабрь 2014

Семенов В. К., Белкин А. Е., Веселов И. В.

УДК: 531/534: 53.05

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
ООО НТЦ "НИИШП"
semenov0811@gmail.com

При изучении проблем "внутренней" механики шин большое значение традиционно имеют экспериментальные исследования, что в известной мере объясняется сложностью математического моделирования процессов, происходящих в резиновом массиве катящейся шины при циклическом деформировании, в частности процессов рассеяния энергии и саморазогрева.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований распределения контактного давления, силы сопротивления качению и температуры саморазогрева массивной шины при различных режимах обкатки на барабанном стенде.

Испытания проведены на массивной шине типоразмера 630×170. Ее первоначально коническая беговая поверхность с малым углом конусности была обточена на станке для придания цилиндрической формы. Полученные после обработки форма и размеры резинового массива шины показаны на рис. 1 и в табл. 1.

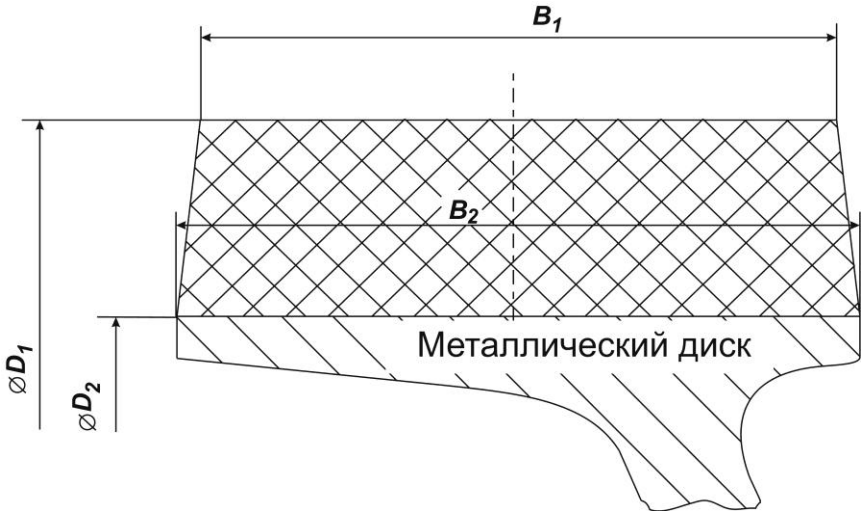


Рис. 1. Профиль экспериментальной массивной шины

Таблица 1. Размеры резинового массива шины

Наружный диаметр D_1, *мм*	625,5
Внутренний диаметр D_2, *мм*	545,5
Ширина беговой дорожки B_1, *мм*	149
Ширина основания резинового массива B_2, *мм*	162,6

Исследование контакта массивной шины с плоской опорной поверхностью

Определение формы и размеров пятна контакта, а также изучение распределения контактного давления при статическом обжатии шины на плоскую опорную поверхность проводилось на оборудовании фирмы XSENSOR Technology Corporation (Калгари, Канада). Шина, установленная на валу гидравлического пресса ОПШ-30, прижималась с заданным усилием к поверхности сенсора IX500:256.256.16. Вид испытательного стенда с объектом испытания показан на рис. 2.

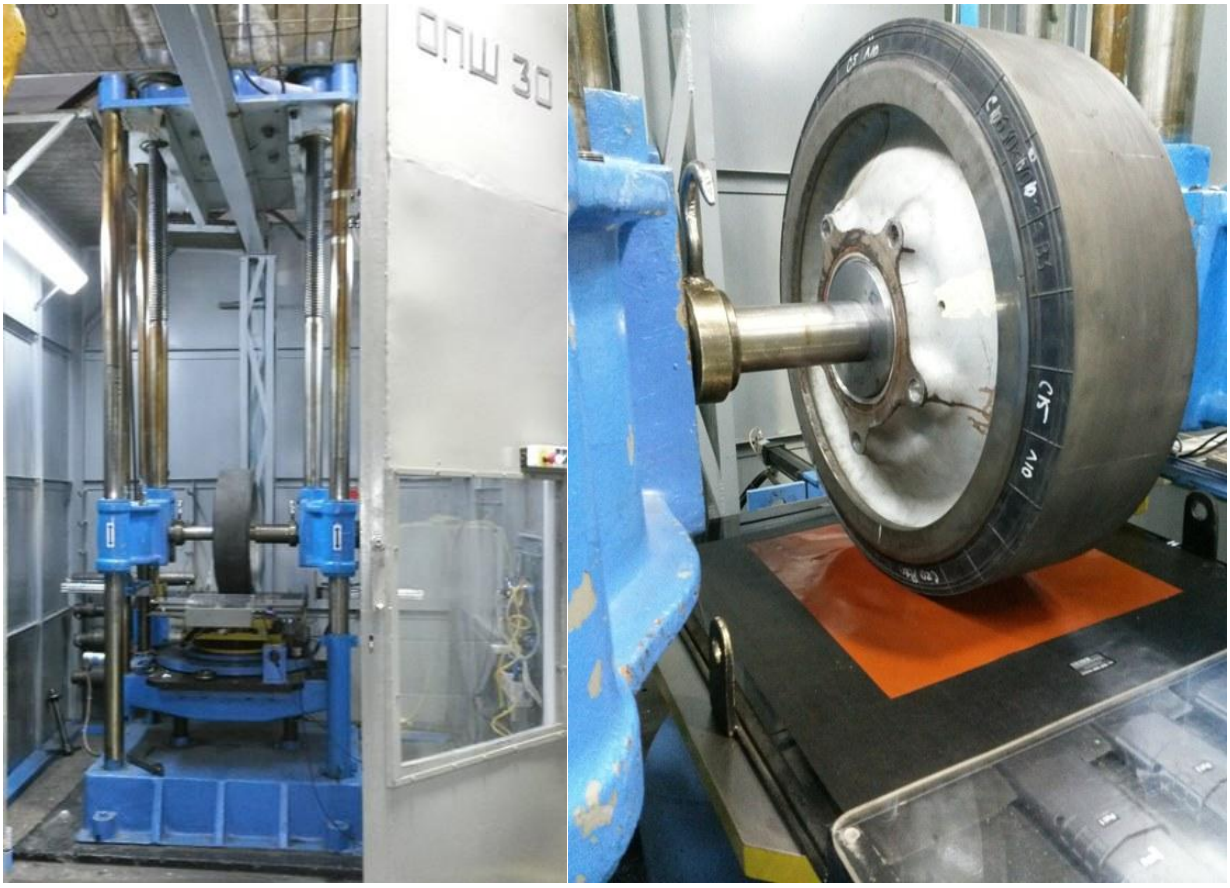


Рис. 2. Стенд для измерения давления в контакте шины с плоской опорной поверхностью

Квадратное поле сенсора, размером 400×400 мм^2, стоит из 65 536 емкостных датчиков с площадью обкладок 2,44 мм^2. Обкладки конденсаторов разделены слоем диэлектри-

ка, изготовленного из эластомера с большой диэлектрической проницаемостью [1]. Увеличение контактного давления, действующего на обкладки, приводит к уменьшению расстояния между ними, следовательно, и к разнице напряжений, растущей линейно с ростом величины давления. Обработанный сигнал с датчиков поступает на компьютер. При помощи специальной программы X3 PRO V7 фиксируется поле давлений в области контакта.

Ниже представлены результаты эксперимента, полученные при силах обжатия 1500 и 1750 кгс. На рис. 3, 4 изображено пятно контакта с измеренными значениями давлений. Для сечений, проходящих через центр пятна контакта, на рис. 5 показаны эпюры давлений. В табл. 2 приведены значения характерных размеров пятна контакта и максимального давления для обоих случаев нагружения. Видно, что с ростом усилия максимальное значение контактного давления не меняется. Растет площадь контакта за счет увеличения зоны, содержащей точки, воспринимающие наибольшее давление.

Таблица 2. Характеристики пятна контакта

Усилие, кгс	**Площадь, см^2**	**Размер в осевом направлении, см**	**Размер в окружном направлении, см**	**Максимальное давление, МПа**
1500	119	15,29	8,41	1,765
1750	129	15,29	9,22	1,765

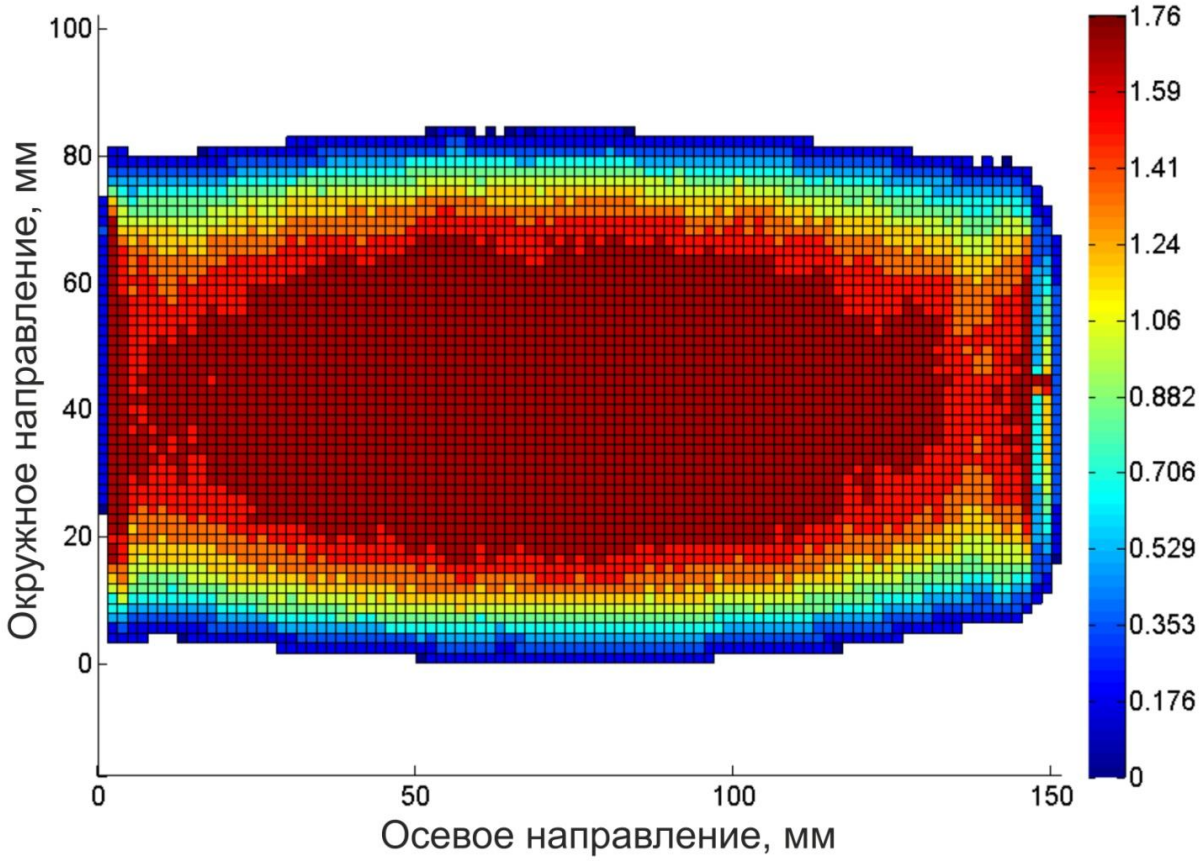


Рис. 3. Распределение контактного давления (МПа) при нагрузке 1500 кгс

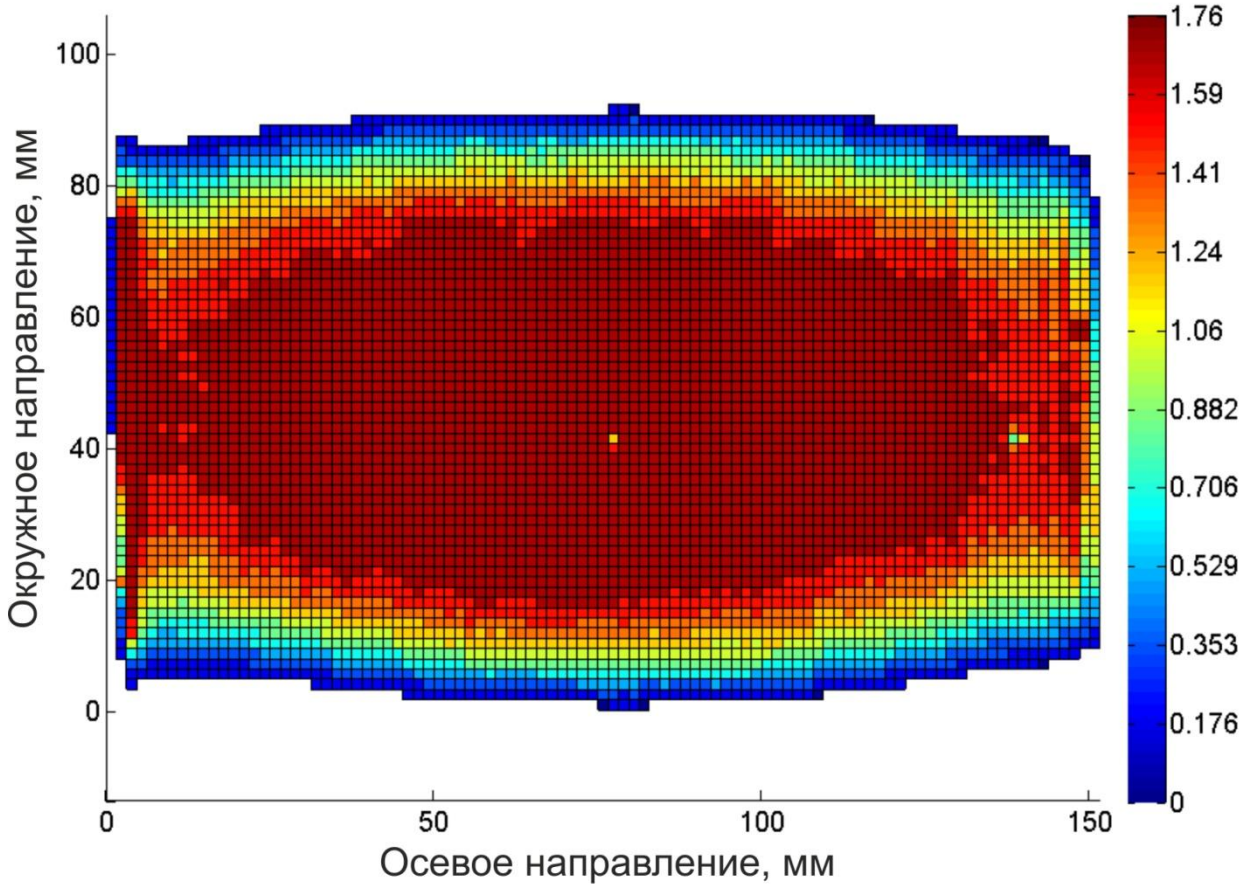
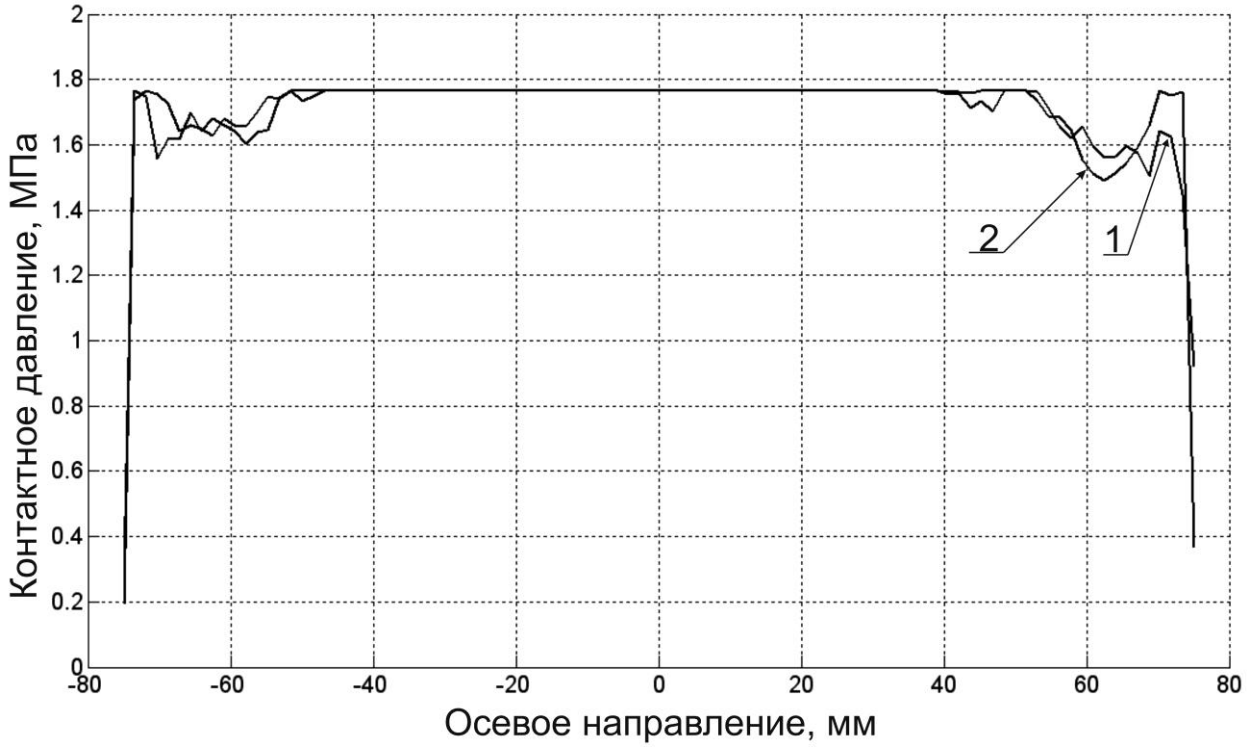
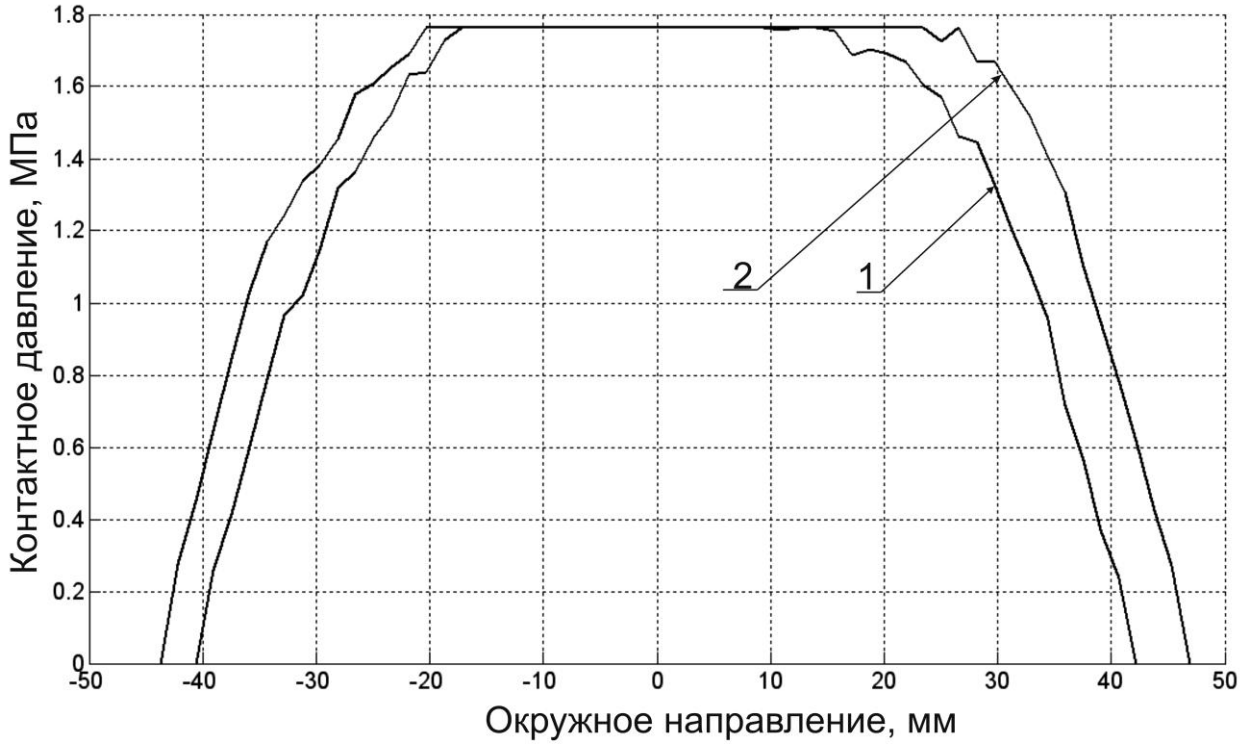


Рис. 4. Распределение контактного давления (МПа) при нагрузке 1750 кгс



а)



б)

Рис. 5. Эпюры распределения контактного давления по осевому (а) и окружному (б) направлениям при усилиях 1500 кгс (1) и 1750 кгс (2)

Исследование сопротивления качению и саморазогрева массивной шины

Испытания проводились на барабанном стенде фирмы Hasbach (West Germany) методом измерения силы на рычаге (force method) [2]. На рис. 6 представлен вид испытательного стенда. Его основные характеристики приведены в табл. 3. Порядок измерения силы реакции X на оси вращения шины соответствовал стандартам ISO 28580 и Правилам 117. Массивная шина обкатывалась по барабану в режиме свободного качения, при котором в области контакта практически отсутствует скольжение.

Таблица 3. Характеристики испытательного стенда Hasbach (West Germany)

Количество испытываемых шин	2
Максимальная нагрузка, кгс	2000
Максимальная скорость, км/ч	250
Диапазон измерения силы сопротивления качению, кгс	0-100
Погрешность измерения силы сопротивления качению, %	1
Диаметр ходового барабана из стали, мм	2000

Измеряемая сила X пересчитывалась в силу сопротивления качению T. Пересчет осуществлялся по формуле [2]:

$$T = X(1 + r/R), \qquad (1)$$

где R - радиус барабана, r – динамический радиус массивной шины, совпадающий со статическим радиусом из-за малости сил инерции.

Рис. 6. Стенд Hasbach (West Germany)

Ниже приведены результаты измерения силы сопротивления качению шины для различных режимов нагружения.

Испытание «холодной» шины

Проводилось измерение сопротивления качению неразогретой массивной шины. Для этого шина предварительно сутки вылеживалась при температуре 22 ^{0}C. После чего проводилась кратковременная серия испытаний. Шина с заданным усилием прижималась к барабану и разгонялась до максимальной (70 км/ч) или минимальной (30 км/ч) скорости. Через несколько минут качения шины в заданном режиме производился замер сопротивления качению при скоростях, меняющихся последовательно от наибольшего к наименьшему значению или в обратном направлении с шагом 10 км/ч. В пределах каждой серии испытаний шина обкатывалась на стенде без остановок. После окончания серии шина останавливалась и фиксировалась ее температура на поверхности. Средний прирост температуры не превышал 10 ^{0}C. Между сериями испытаний шине давали остыть до ее первоначальной температуры.

Каждая серия была проведена несколько раз с целью исключения погрешности измерения, связанной с возможным влиянием температуры и возможной нестационарностью работы резины под нагрузкой.

На рис. 7 показаны графики изменения силы сопротивления качению от скорости при различных силах прижатия шины к барабану. При увеличении скорости от 30 км/ч до 70 км/ч рост силы сопротивления качению не превосходит 10%. Этот результат хорошо согласуется с экспериментальными данными для образцов резины, гистерезисные потери в которых практически не зависят от частоты нагружения [3]. Это обстоятельство позволяет сократить число проводимых испытаний шины, принимая силу сопротивления не зависящей от скорости качения в рассмотренном диапазоне скоростей. Результаты измерений можно усреднить по скоростям и построить график зависимости силы сопротивления качению от усилия прижатия шины к барабану. На рис. 8 показаны полученные таким образом зависимости, первая из которых соответствует «холодному» состоянию массивной шины. Из рисунка видно, что экспериментальные результаты хорошо укладываются на одну прямую.

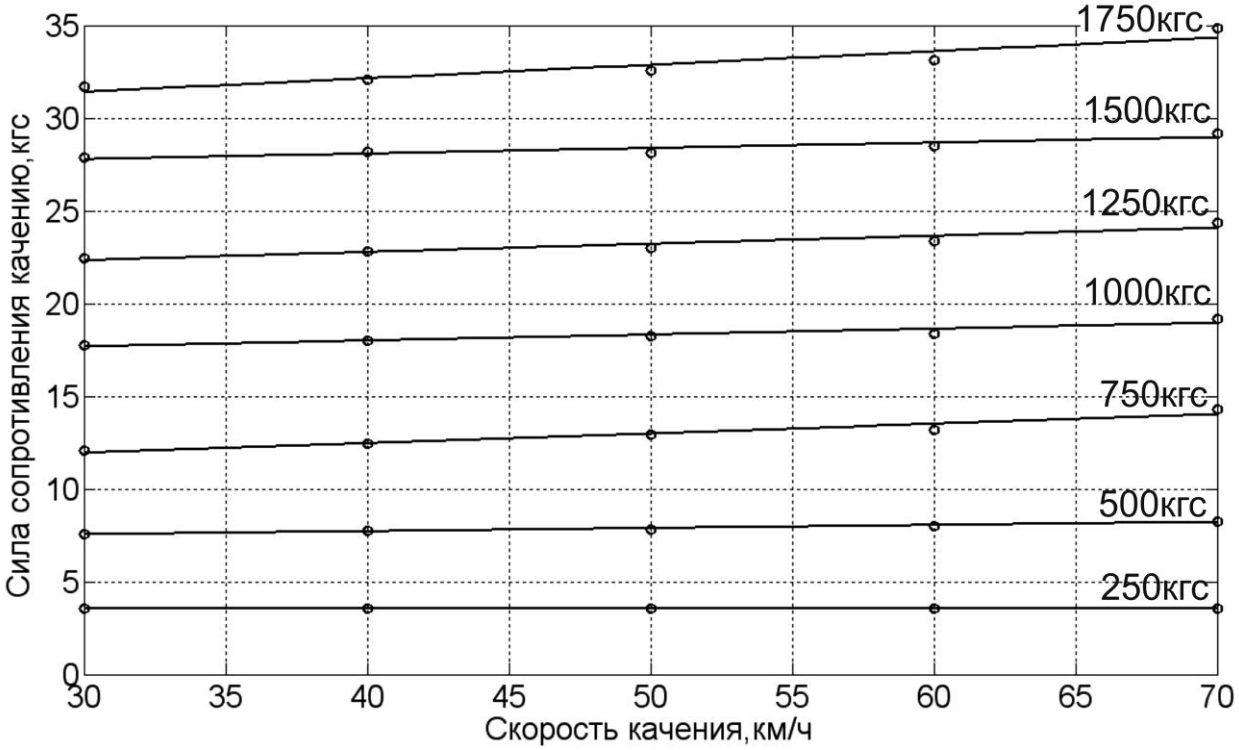


Рис. 7. Зависимость силы сопротивления качению «холодной» массивной шины от скорости качения при разных силах прижатия шины к барабану. Точками показаны осредненные по числу измерений экспериментальные результаты.

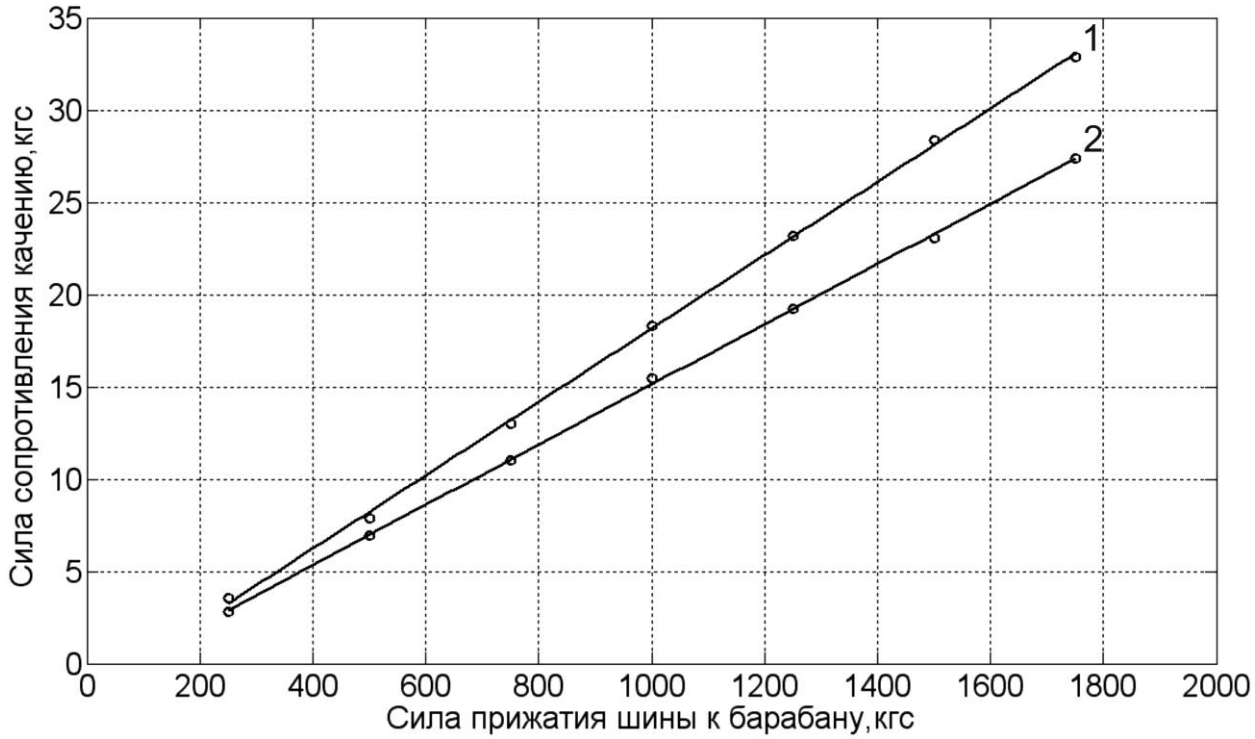
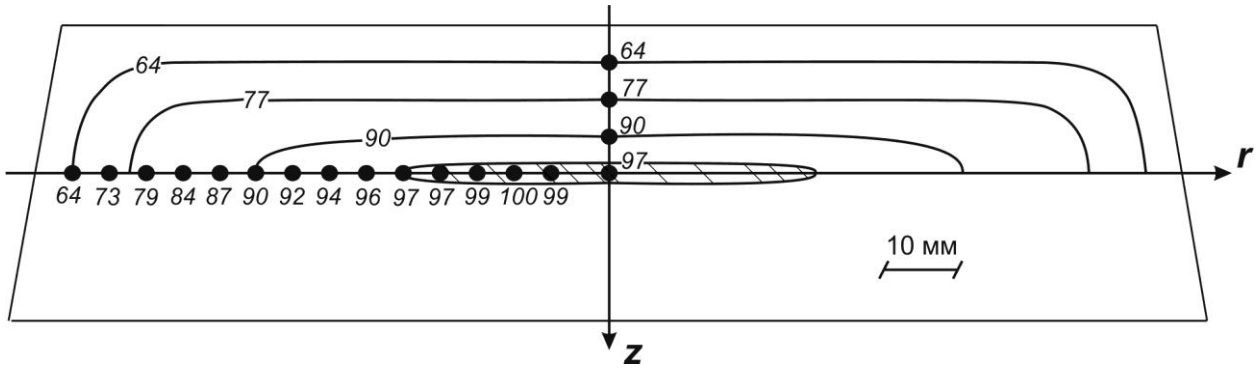


Рис.8. Сила сопротивления качению 1 - «холодной» массивной шины; 2 – разогретой массивной шины.

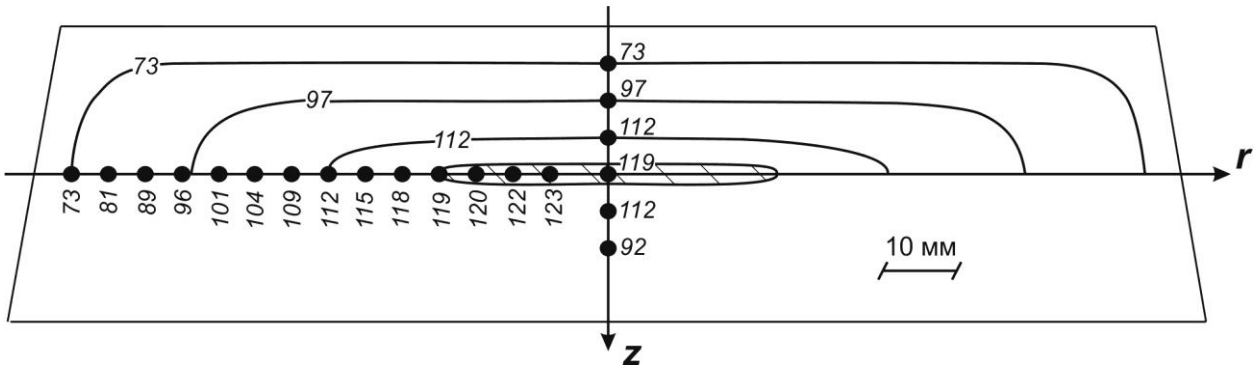
Точками показаны экспериментальные результаты, осредненные по скоростям.

Испытание разогретой шины

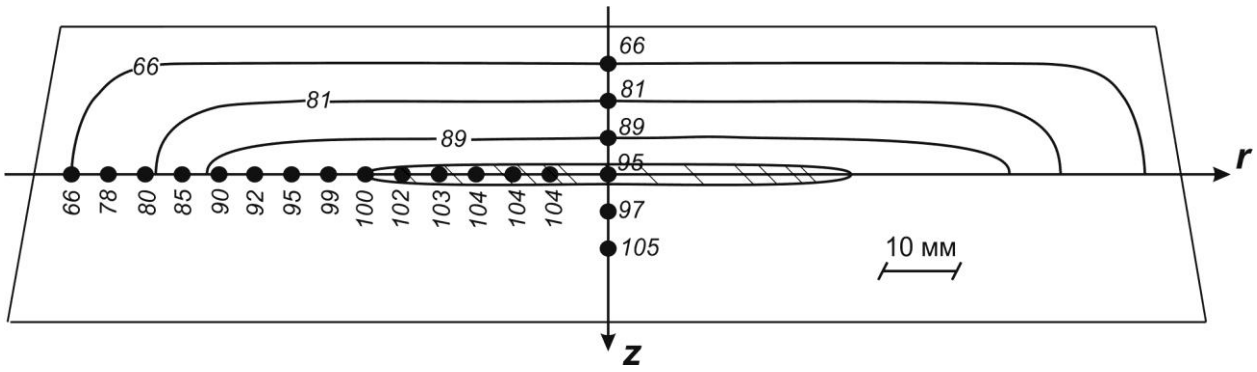
Для измерения силы сопротивления качению шины при повышенной температуре ее предварительно обкатывали полтора часа на стенде при заданной скорости и нагрузке, которые в дальнейшем называются базовыми. За это время температурное поле в резиновом массиве шины принимало стационарное состояние. Измерение температур проводилось по аналогии с работой [4]. На рис. 9 на поперечном сечении шины в масштабе представлены изолинии поля температур для разных сил прижатия и скоростей качения.



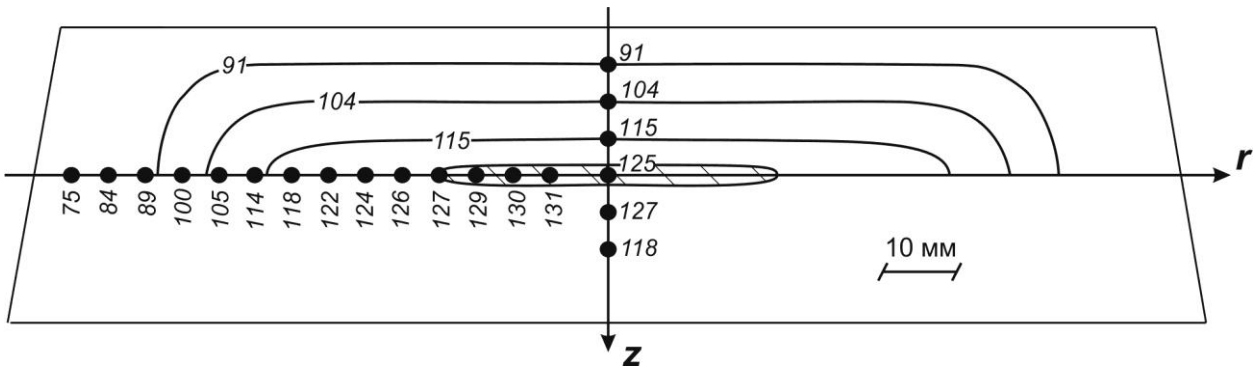
а) Базовая нагрузка 1500 кгс, скорость 50 км/ч



б) Базовая нагрузка 1500 кгс, скорость 70 км/ч



в) Базовая нагрузка 1750 кгс, скорость 50 км/ч



г) Базовая нагрузка 1750 кгс, скорость 70 км/ч

Рис. 9. Стационарное поле температур при базовой нагрузке и скорости.

Цифрами указана температура в ^{o}C.

Как и в предыдущем случае, измерение силы сопротивления качению осуществлялось сериями. В пределах каждой серии сила прижатия шины к стенду оставалась неизменной, менялась лишь скорость качения. Между сериями измерений шина обкатывалась на стенде в течение 15 минут при базовой скорости и нагрузке. Экспериментально измеренные значения сопротивления качению для всех тепловых состояний, показанных на рис. 9, практически совпадают. Результирующий график зависимости силы сопротивления качению от усилия прижатия шины к барабану показан на рис.8 под номером 2.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для подтверждения расчетов теплообразования в массивных шинах [5,6].

Список литературы

1. Ashruf C.M.A. Thin flexible pressure sensors// Sensor Review, issue 4, vol. 22, 2002. – pp. 322 – 327.
2. Петрушов В.А. Автомобили и автопоезда // М.: Торус-Пресс, 2008.– 352 с.
3. Семенов В.К., Белкин А.Е. Экспериментальное исследование гистерезисных свойств протекторных резин в условиях циклического нагружения, характерного для автомобильных шин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. №2., 2013. – с. 9-14.
4. Жеребцов А.Н., Горелов В.С., Михайлов А.Г., Шиманский Б.А. Исследование распределения температур в массиве шины // Массивные шины. Расчет, конструирование, технология, испытания. М., ЦНИИТЭнефтехим, 1990. – с. 41-52.
5. Kaliske M., Behnke R. Thermo-mechanically coupled investigation of steady state rolling tires by numerical simulation and experiment // International journal of non-linear mechanics, article in press, 2014. – 31 pp.
6. Nackenhorst U. Finite element analysis of tire in rolling contact // Gamm-Mitteilungen, vol. 37, issue 1, 2014. – pp. 27-65.