

УДК 625.73

Л. А. СОСНОВСКИЙ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, О. М. ЕЛОВОЙ, кандидат технических наук, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Е. А. ТЕМНИКОВ, Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТОСПОСОБНОСТИ ШИННЫХ РЕЗИН

Впервые получен комплекс характеристик интегральных и локальных свойств шинных резин трех рецептур.

Известные методы испытания резин, как правило, предусматривают измерение таких интегральных параметров свойств, как прочность, сопротивление истиранию и усталости, упругость, стойкость к старению и т.д. [1]. Между тем важное практическое значение имеют и локальные параметры, характеризующие неоднородность свойств материала в точке (локальной зоне) [2]. В данной работе впервые использованы оба (принципиально различающиеся) метода исследования для экспериментального определения свойств шинных резин. Для испытаний приняты шинные резины трех различных составов: № 1 (Бел-162 1815 Бел 3515), № 2 (Bridgestone 3A), № 3 (Goodyear); их рецептуростроение здесь не раскрывается.

Исследования локальных свойств. Для испытаний принят метод ступенчатого повышения контактной нагрузки (рисунки 1, 2). В процессе испытаний автоматически измеряли [2] сближение осей δ_c в каждой из восьми точек образца шинной резины по длине его окружности во время одного его оборота (рисунок 3). На основании таких измерений вычислили:

– коэффициент асимметрии

$$R_a = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{r_{\min(i)}}{r_{\max(i)}}, \quad (1)$$

где r_{\min} , r_{\max} – меньший и больший радиусы одного диаметра;

– коэффициент неравномерности

$$\eta_a = \frac{r_{\text{наим}}}{r_{\text{наиб}}}, \quad (2)$$

где $r_{\text{наиб}}$, $r_{\text{наим}}$ – наибольший и наименьший радиусы образца в течение одного оборота.

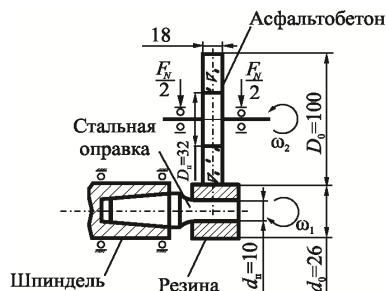


Рисунок 1 – Лабораторная модель асфальтобетон/шина: трение качения

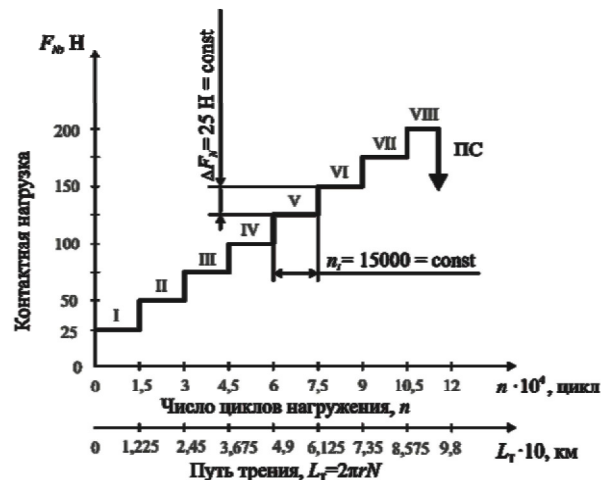


Рисунок 2 – Режим ускоренных испытаний при качении

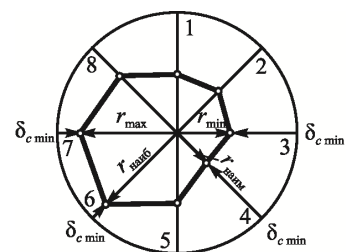


Рисунок 3 – Схема к анализу неравномерного износа образца

Всего испытано по 10 образцов шинных резин каждой рецептуры. Результаты измерений усреднили, и по ним построены зависимости изменения коэффициентов асимметрии и неравномерности образцов № 1–3 на каждой ступени нагружения (таблица 1, рисунок 4).

Таблица 1 – Коэффициенты асимметрии и неравномерности образцов № 1–3

Образец	Коэффициенты	Степень нагружения							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
№ 1 (Бел-162 1815 Бел 3515)	Асимметрии R_a	0,67	0,86	0,90	0,94	0,92	0,98	0,96	0,97
	Неравномерности η_a	0,52	0,71	0,70	0,79	0,72	0,72	0,76	0,94
№ 2 (Bridgestone 3A)	Асимметрии R_a	0,54	0,81	0,90	0,83	0,92	0,91	0,96	0,89
	Неравномерности η_a	$2 \cdot 10^{-3}$	0,15	0,52	0,58	0,54	0,64	0,59	0,63
№ 3 (Goodyear)	Асимметрии R_a	0,62	0,78	0,85	0,87	0,91	0,93	0,96	0,93
	Неравномерности η_a	0,35	0,66	0,69	0,70	0,71	0,68	0,70	0,78

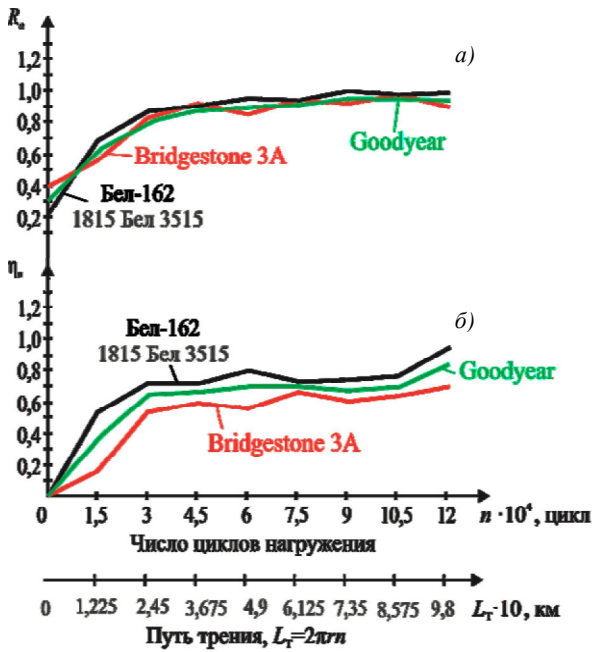


Рисунок 4 – Изменение среднего значения коэффициентов асимметрии и неравномерности для образцов шин трех рецептур в процессе испытания

По результатам испытаний можно сделать два вывода. Во-первых, с ростом нагрузки и времени испытаний обнаруживается единая для всех образцов закономерность – неуклонное усиление неоднородности свойств материала в локальных точках деформирования. Во-вторых, установлено, что различий в анизотропии свойств исследованных материалов по показателю R_a не обнаруживается (см. рисунок 4, а), а по показателю η_a (см. рисунок 4, б) резина Bridgestone 3A деформируется более равномерно, тогда как Бел-162 1815 Бел 3515 имеет более высокую анизотропию свойств. Резина Goodyear занимает промежуточное положение.

Далее исследовали рассеяние свойств резин (рисунок 5). По результатам испытаний определили три характеристики рассеивания: размах $\Delta\delta = \delta_{\max} - \delta_{\min}$; среднее значение $\delta_{\text{ср}} = (\delta_{\max} + \delta_{\min})/2$, а также аналог коэффициента вариации данных, определенного как отношение $\Delta\delta / \delta_{\text{ср}}$ (таблица 2).

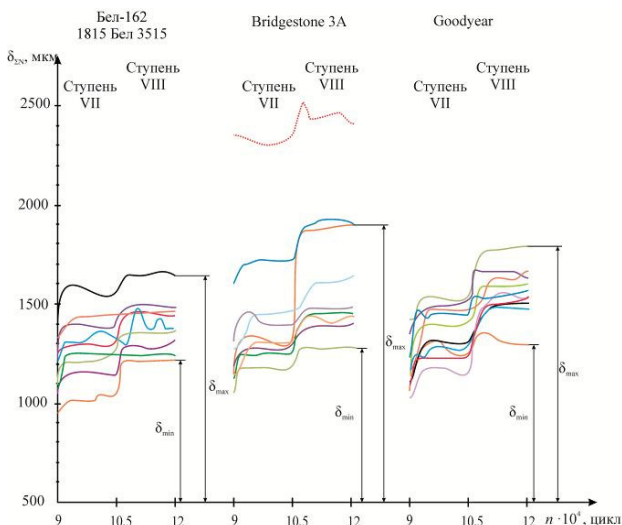


Рисунок 5 – Сближение осей на ступенях нагружения VII и VIII десяти образцов шин трех рецептур в процессе испытания

Таблица 2 – Параметры рассеивания сближения осей

Рецептуры	δ_{\max} , МКМ	δ_{\min} , МКМ	$\Delta\delta$, МКМ	$\delta_{\text{ср}}$, МКМ	$\frac{\delta_{\max} - \delta_{\min}}{\delta_{\text{ср}}}$	$\frac{\Delta\delta}{\delta_{\text{ср}}} \cdot 100\%$
Бел-162 1815 Бел 3515	1540	1215	325	1378	0,24	24
Bridgestone 3A	2405	1280	1125	1843	0,61	61
Goodyear	1790	1285	505	1538	0,33	33

Исходя из полученных результатов (см. рисунок 5 и таблицу 2), можно сделать вывод: самое большое рассеивание свойств имеет Bridgestone 3A, тогда как у Бел-162 1815 Бел 3515 и Goodyear эти показатели близки.

Аналогично представлены результаты анализа разброса температуры в процессе испытания (рисунок 6 и таблица 3). Можно сделать заключение, что самое малое рассеивание имеет Бел-162 1815 Бел 3515, тогда как у Bridgestone 3A и Goodyear его показатели близки.

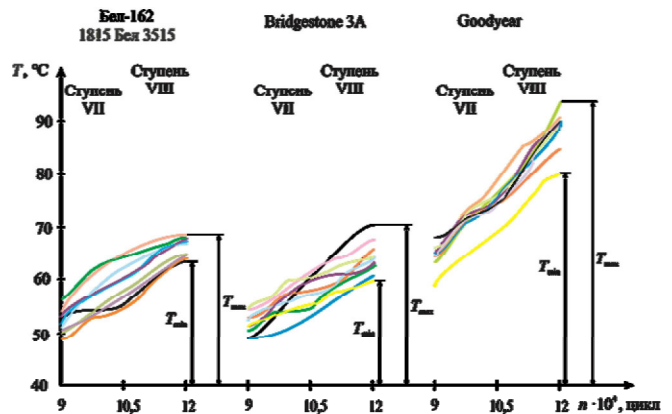


Рисунок 6 – Изменение температуры на ступенях нагружения VII и VIII десяти образцов шин трех рецептур в процессе испытания

Таблица 3 – Параметры рассеивания температуры

Рецептуры	T_{\max} , °C	T_{\min} , °C	ΔT , °C	$T_{\text{ср}}$, °C	$\frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\text{ср}}}$	$\frac{\Delta T}{T_{\text{ср}}} \cdot 100\%$
Бел-162 1815 Бел 3515	68	64	4	66	0,06	6
Bridgestone 3A	70,5	59,8	10,7	65,2	0,16	16
Goodyear	95	80,1	14,9	87,6	0,17	17

Следует подчеркнуть, что рассеяние результатов испытаний – нормальное состояние любого материала, поскольку характеристики механических свойств имеют вероятностную природу. В нашем случае рассеяние свойств, в первом приближении, обусловлено:

- различиями в составе и строении резины (каучук, наполнители, вулканизирующие агенты, ускорители, противостарители, мягчители и т.д.);
- различиями в технологии изготовления образцов из резины (режимы резания, состояние инструмента и т.д.);
- различиями в условиях испытаний (среда, условия закрепления, центровка и нагружение образца, динамические свойства испытательной машины и т.д.).

Анализируя данные таблицы 5, можно сделать заключение, что результаты проведенных испытаний оказались стабильными, т.е. их воспроизводимость практически приемлема.

Исследования интегральных свойств. Они выполнены при испытании шинных резин с постоянной нагрузкой (рисунок 7). Результаты испытаний даны на рисунке 8, а их обработка поясняется на рисунке 9.

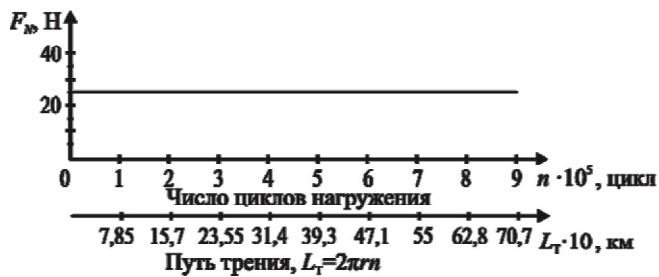


Рисунок 7 – Контактная нагрузка в процессе испытания

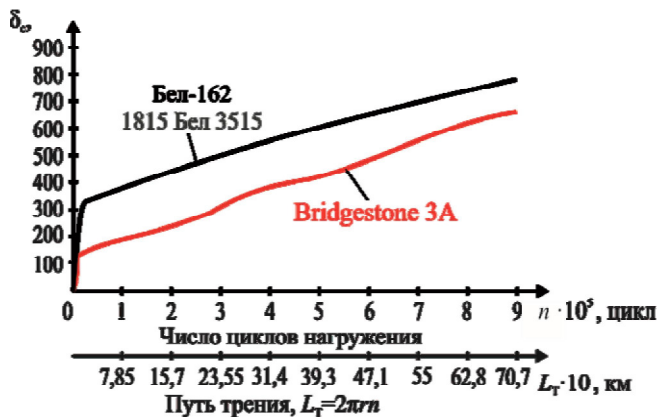


Рисунок 8 – Сближение осей при степени проскальзывания 5 % для образцов шин двух рецептур

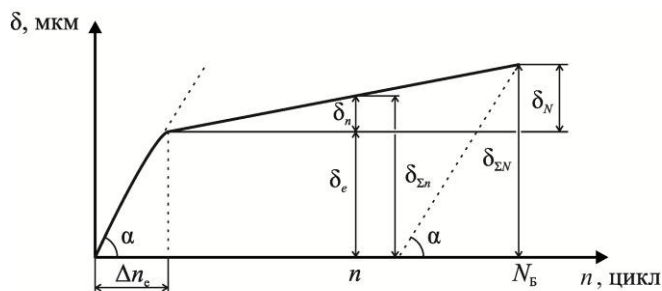


Рисунок 9 – Схематизация графика сближения осей при трении качения с заданным проскальзыванием

Согласно рисунку 9, устанавливается ряд характеристик (параметров), которые представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные параметры работоспособности при трении качении с заданным проскальзыванием

Параметр	Обозначение	Численные значения
Упругое сближение осей, мкм	δ_e	80
Остаточное сближение осей при $n \cdot 10^5$ циклов, мкм	δ_n	386
Остаточное сближение осей при достижении базы (N_B) испытания, мкм	δ_N	669
Суммарное сближение осей при $n \cdot 10^5$ циклов, мкм	$\delta_{\Sigma n} = \delta_e + \delta_n = \delta_e + i$ $\delta_n \approx i$	466
Суммарное сближение осей при достижении базы (N_B) испытания, мкм	$\delta_{\Sigma N} = \delta_e + \delta_N$	749
Количество циклов, в течение которых происходит упругое сближение осей, цикл	Δn_e	6800
Базовое число циклов	N_B	$9 \cdot 10^5$

Из опытных данных можно в первом приближении сделать вывод, что по экспериментальным зависимостям $\delta_c - N(L_T)$ представляется возможным охарактеризовать упругие свойства резин, определяя характеристику δ_c на первой (I) ступени нагружения (рисунки 10 и 11 и таблица 5). Из рисунков 10 и 11 следует, что величина δ_c зависит от степени проскальзывания – вывод, который не является очевидным. В этой связи дальнейшие исследования должны его либо подтвердить, либо опровергнуть. А пока, в практическом плане, отметим: упругие свойства резин Бел-162 1815 Бел 3515 и Bridgestone 3A различны, отечественная шина имеет большую упругую стадию.

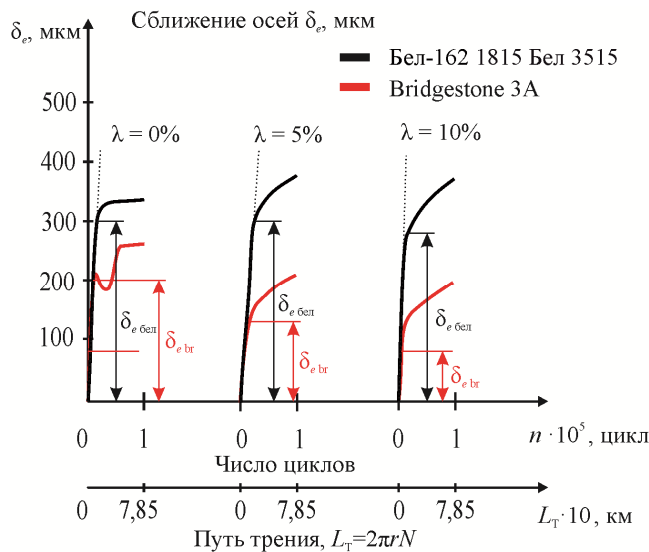


Рисунок 10 – Анализ сближения осей δ_c при степенях проскальзывания 0; 5 и 10 %

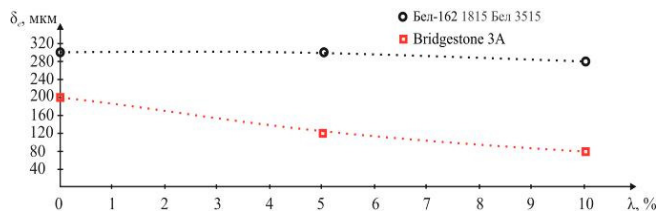


Рисунок 11 – Сближение осей δ_c в зависимости от степени проскальзывания

Таблица 5 – Характеристики упругой стадии

Образец	λ , %	δ_c , мкм	Δn_e , цикл
Бел-162 1815 Бел 3515	0	300	6500
	3	250	4000
	5	300	6700
	10	280	5600
Bridgestone 3A	0	200	3300
	3	240	7000
	5	120	6700
	10	80	6800

Общие сведения о свойствах шинных резин разных рецептов даны в таблицах 6–9.

Подчеркнем, что, согласно таблице 4, если измерено сближение осей δ_c при качении, то износ i шинной резины достаточно точно вычисляется по формуле

$$i = \delta_{\Sigma n} - \delta_c = \delta_n,$$

где $\delta_{\Sigma n} = \delta_c$ при заданом числе циклов нагружения n . Заметим, что достаточная точность расчета обусловлена тем обстоятельством, что в процессе испытаний не обнаруживается пластическая деформация материала ролика.

Таблица 6 – Износ резин разных рецептов при $L_N = 98$ км

Рецептуры	i , МКМ	k_{IT} , МКМ/°С	R_a	η_a
Бел-162 1815 Бел 3515	100	1,50	0,97	0,94
Bridgestone 3A	100	1,58	0,89	0,63
Goodyear	100	1,12	0,93	0,78

Таблица 7 – Температурная работа резин разных рецептов при $L_N = 98$ км

Рецептуры	T_{max}	T_{min}	ΔT	T_{cp}	$\frac{\Delta T}{T_{cp}} \cdot 100\%$
	°С				
Бел-162 1815 Бел 3515	68	64	4	66	6
Bridgestone 3A	70,5	59,8	10,7	65,2	16
Goodyear	95	80,1	14,9	87,6	17

Таблица 8 – Сближение осей резин разных рецептов при $L_N = 98$ км

Рецептуры	δ_{max} , МКМ	δ_{min} , МКМ	$\Delta\delta$, МКМ	δ_{cp} , МКМ	$\frac{\Delta\delta}{\delta_{cp}} \cdot 100\%$
Бел-162 1815 Бел 3515	1540	1215	325	1378	24
Bridgestone 3A	1880	1280	600	1580	38
Goodyear	1790	1285	505	1538	33

Получено 26.05.2016

L. A. Sosnovskiy, O. M. Elovoy, E. A. Temnikov. Study of local and integrated performance characteristics tire rubber. For the first time received a set of integrated features and local features three tire rubber formulations.

Таблица 9 – Оценка упругой стадии резин разных рецептов с различными степенями проскальзывания при $L_N = 707$ км

Образец	λ , %	δ_c , МКМ	$\Delta n_{цикл}$	L_c , км	t_c , мин
Бел-162 1815 Бел 3515	0	300	6500	5,31	2,17
	3	250	4000	3,27	1,33
	5	300	6700	5,47	2,23
	10	280	5600	4,57	1,87
Bridgestone 3A	0	200	3300	2,69	1,10
	3	240	7000	5,71	2,33
	5	120	6700	5,47	2,23
	10	80	6800	5,55	2,27

Таким образом, в первом приближении изучен вопрос о стабильности измерений, или о повторяемости результатов испытаний. Как известно, любые характеристики работоспособности резин подвержены неустраняемому никакими мероприятиями рассеянию. В исследуемом случае оно достигает 38 % от средней величины износа (см. таблицу 8) и 16 % от температуры (см. таблицу 7). Указанное рассеяние свойств свидетельствует о приемлемой для практики повторяемости результатов испытания резин, исследованных в данной работе.

Список литературы

1 **Резниковский, М. М.** Механические испытания каучука и резины / М. М. Резниковский, А. И. Лукомская. – М. : Химия, 1964. – 528 с.

2 **Сосновский, Л. А.** Механика износоусталостного повреждения / Л. А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 434 с.