

Сасов А.А., Коробочка А.Н., д.т.н.

Днепродзержинский ГТУ, г. Днепродзержинск

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН СВЕРХНИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ТРАКТОРОВ

*Определена математическая зависимость температуры в характерных зонах пневматической шины от времени движения, радиальной нагрузки на шину, скорости движения и внутреннего давления. Разработана методика определения ресурса пневматических шин с учетом температурного режима и амплитудно-частотных характеристик армированной оболочки шины.*

Проблема долговечности пневматических шин занимает особое место в комплексе мероприятий по повышению надежности автомобильного транспорта. Пневматические шины сверхнизкого давления на грунт относятся к классу внедорожных шин, которые отличаются особыми свойствами: многослойностью, большим весом, спецификой деформирования и разрушения. Эти особенности шин сверхнизкого давления на грунт при возрастающих скоростях тракторов обусловили концептуальный подход к ним в научном, технологическом и экспериментальном направлениях. Для создания конкурентоспособных конструкций пневматических шин необходим комплексный подход к расчету прочностных и тепловых параметров, разработка новых методов проектирования. Создание оптимальной конструкции пневматических шин невозможно без проведения на стадии проектирования расчетного и экспериментального анализа их напряженно-деформированного состояния и конструктивных элементов при действии эксплуатационных нагрузок. Моделирование напряженно-деформированного состояния пневматических шин дает возможность на стадии проектирования задавать необходимые технические и эксплуатационные характеристики: грузоподъемность, скорость движения, ресурс и пр. Поэтому моделирование напряженно-деформированного состояния пневматических шин с учетом условий их реальной эксплуатации заслуживает особого внимания, является актуальной проблемой, имеет большое научное, практическое и хозяйственное значения, решение которой способствует экономии ценного сырья и средств, а также повышению эффективности использования машинного парка путем прогнозирования ресурса пневматических шин.

Ресурс шины - величина случайная, зависящая от качества ее изготовления и условий эксплуатации. Практика эксплуатации шин, работающих в экстремальных условиях, показала, что основная часть отказов приходится на усталостное разрушение межслойных резин [1].

В настоящее время для определения ресурса шин на автотранспортных предприятиях используют временные нормы эксплуатационного пробега шин, разработанные с учетом статистического анализа фактических данных о средних пробегах и основных причинах выхода из строя 420 тыс. шин, снятых с эксплуатации (руководящий документ РД 3112199-1085-02 от 4 апреля 2002 г.). Нормы эксплуатационного пробега шин устанавливаются для каждого типоразмера и модели шины, а также каждой модификации эксплуатируемых автомобилей и соответствуют определенным условиям работы автомобильного транспорта. Учет дорожно-транспортных и других эксплуатационных факторов производится с помощью ряда поправочных коэффициентов к величине среднестатистического пробега шин. Для новых моделей шин и новых марок автомобилей, для которых не установлены нормы эксплуатационного пробега шин, используют временную норму, определенную на основании средних пробегов списанных шин.

Для планирования потребности транспортных предприятий в шинах, осуществления режима экономии и рационального использования материальных ресурсов, определения

уровня тарифов и обеспечения расчетов по налогообложению предприятий возникает необходимость в разработке методики уточненного расчета ресурса шин.

Ресурс пневматических шин определяется пробегом шины (в км или часах) до наступления предельного состояния, приводящего к прекращению их эксплуатации. Наиболее точным является определение ресурса шины по усталостному разрушению ее элементов.

Усталостное разрушение происходит при циклическом нагружении шины. При этом в ней накапливаются необратимые повреждения, приводящие к образованию и развитию трещин. Существующие критерии разрушения основаны на энергетическом подходе либо на кинетической концепции прочности. Известны также критерии, использующие термодинамический и статистический подходы [2, 3].

В настоящее время все названные процессы имеют лишь качественное описание. Наибольшее влияние на механические свойства и долговечность оказывают динамические напряжения и теплота от диссипативного саморазогрева соответствующих конструктивных элементов шины. Последний отрицательно влияет на механические и усталостные характеристики, а в ряде случаев является основной причиной разрушения пневматической шины. Кроме того, на механические свойства композитов резиновой смеси существенное влияние оказывает скорость ее деформации. Усталостные разрушения сопровождаются значительными изменениями упругих характеристик шины и повышением температуры.

В соответствии с изложенным, разработана методика расчета ресурса пневматических шин, которая выполняется в следующей последовательности:

1. Определяются с помощью ЭВМ и разработанного программного обеспечения поля напряжений в шине при динамическом действии эксплуатационной нагрузки – внутреннего давления и радиального усилия, соответствующих основному режиму эксплуатации шины.

2. Определяется максимальная температура от действия диссипативного саморазогрева:  
– в центральной зоне шины (рис.1):

$$y_{c1} = -14,75P + 0,64V + 0,0057Q + 0,35t, \quad (1)$$

где  $P$  – внутреннее давление в шине, МПа;

$V$  – скорость движения шины, км/час;

$Q$  – радиальная нагрузка на шину, Н;

$t$  – время движения, мин.

– в подканавочной зоне шины:

$$y_{c2} = -11,41P + 0,57V + 0,0074Q + 0,32t; \quad (2)$$

– в плечевой зоне шины по:

$$y_{c3} = -7,85P + 0,66V + 0,0061Q + 0,34t. \quad (3)$$

В результате решений устанавливается максимальная температура, которая и принимается в дальнейших расчетах.

3. Ресурс шины определяется по критерию накопления повреждений:

$$\Delta P_{kp} = \int_0^t P(t) dt, \quad (4)$$

где  $\Delta P_{kp}$  – критическая величина поврежденности;

$t$  – время локального разрушения, час.

Для режима импульсивного нагружения время локального разрушения равно:

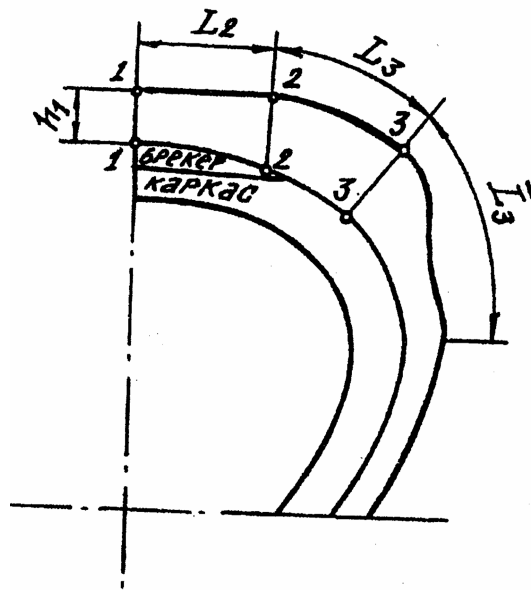


Рис. 1. Характерные зоны пневматической шины:

1 – центральная зона; 2 – подканавочная зона; 3 – плечевая зона

$$t = \frac{t_0 \exp \left[ \frac{U_0 - \gamma(\sigma_a, \sigma_c - 7,85P + 0,66V + 0,0061Q + 0,34)}{(\sigma_a + \alpha_c \sigma_c)} \right]}{k \cdot (-7,85P + 0,66V + 0,0061Q + 0,34)} \quad (5)$$

В упрощенной форме эта зависимость имеет следующий вид:

$$t = \frac{t_0 \exp \left[ U_0 - \gamma(\sigma_a, \sigma_c + y_{c3})(\sigma_a + \alpha_c \sigma_c) \right]}{k y_{c3}}, \quad (6)$$

где  $t_0$ ,  $U_0$ ,  $\gamma$  – постоянные величины, зависящие от свойств резины;

$\sigma_a$  – амплитуда цикла напряжений, Па;

$\sigma_c$  – среднее напряжение, Па;

$k$  – постоянная Больцмана;

$y_{c3}$  – температура шины, °K.

Амплитуду цикла напряжений определяют по формуле:

$$\sigma_a = \frac{1}{2(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}, \quad (7)$$

где  $\sigma_{\max}$  – максимальное значение нормальных напряжений в шине;

$\sigma_{\min}$  – минимальное значение нормальных напряжений в шине.

Величину среднего напряжения определяют по формуле:

$$\sigma_c = \frac{1}{2(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})}. \quad (8)$$

Величина ресурса, м, в зависимости от скорости движения  $V$ , равна:

$$L = \frac{t_0 \exp \left[ \frac{U_0 - \gamma(\sigma_a, \sigma_c, -7,85P + 0,66V + 0,0061Q + 0,34)}{(\sigma_a + \alpha_c \sigma_c)} \right]}{k(-7,85P + 0,66V + 0,0061Q + 0,34)} V. \quad (9)$$

Или:

$$L = \frac{t_0 \exp \left[ U_0 - \gamma(\sigma_a, \sigma_c, y_{c3}) \cdot (\sigma_a + \alpha_c \sigma_c) \right]}{k y_{c3}} V. \quad (10)$$

По разработанной методике произведен расчет ресурса пневматических шин моделей 66×43.00LR25 и 67×43.00LR25.

Зависимость ресурса шин от радиальной нагрузки, скорости движения, внутреннего давления в шине и углов армирования материала оболочки представлены на рисунках 2-5.

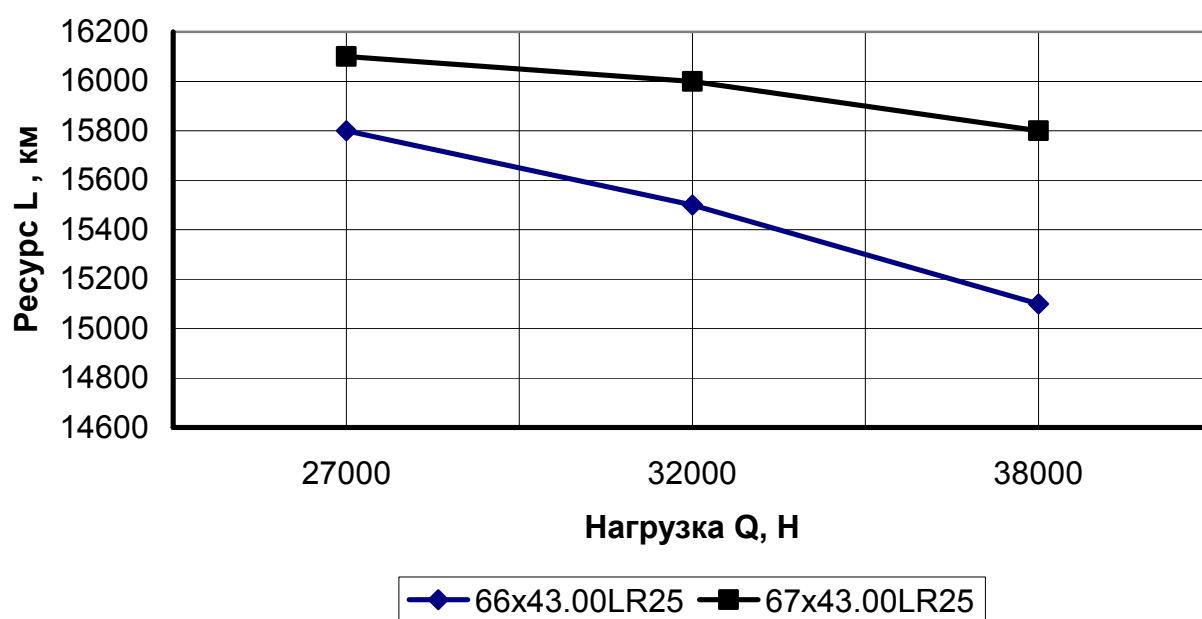


Рис. 2. Зависимость ресурса шин от радиальной нагрузки

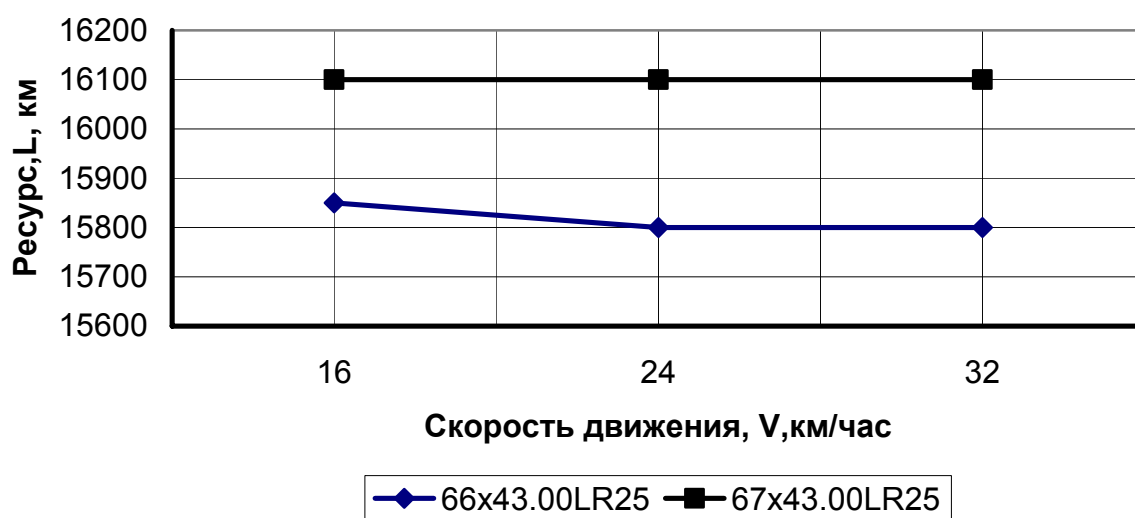


Рис. 3. Зависимость ресурса шин от скорости движения

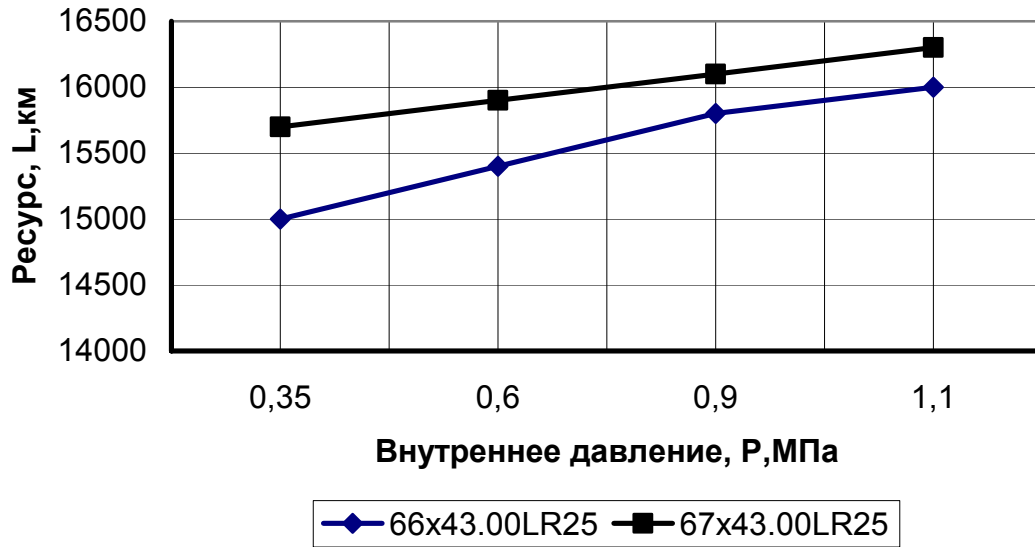


Рис. 4. Зависимость ресурса шин от внутреннего давления

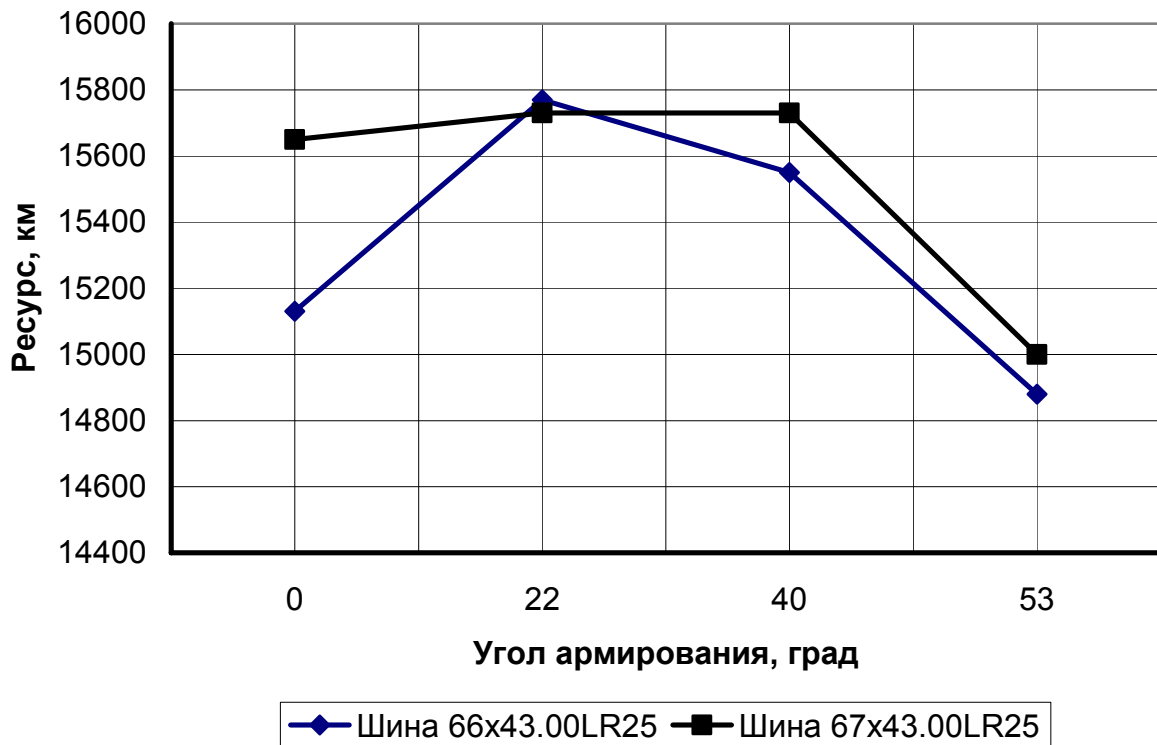


Рис. 5. Зависимость ресурса шин от углов армирования

Результаты расчетов приведены в таблице 1 [4].

### Выводы

1. Установлено, что изменение температуры шины в зависимости от времени её движения, внутреннего давления, скорости движения и радиальной нагрузки является линейной.
2. Установлено, что максимальная температура в зависимости от исследуемых параметров находится в плечевой зоне шины. Поэтому для определения температуры в расчетах ресурса шин необходимо использовать полученные уравнения для плечевой зоны.

Таблица 1

## Расчетный ресурс шин 66×43.00LR25 и 67×43.00LR25

Эксплуатационные параметры	66×43.00LR25 угол армирования 0°	67×43.00LR25 угол армирования 0°	66×43.00LR25 угол армирования 22°	67×43.00LR25 угол армирования 22°
Радиальная нагрузка, <i>H</i>	27000	27000	27000	27000
Внутреннее давление, <i>МПа</i>	0,17	0,30	0,17	0,30
Скорость движения, <i>м/с</i>	11,11	11,11	11,11	11,11
Расчетный ресурс, <i>км/моточасов</i>	15130/1008,6	15650/1043,3	15770/1051,3	15730/1048,6
Средний ресурс согласно РД 3112199-1085-02, <i>км/моточасов</i>	18000-20000/1200-1333		-	-

3. Установлено, что при увеличении радиальной нагрузки на шину 66×43.00LR25 от 27000 *H* до 38000 *H* ее ресурс уменьшился на 4,5%, аналогично у шины 67×43.00LR25 ресурс уменьшился на 2%. При увеличении скорости движения с 16 *км/ч* до 32 *км/ч* наблюдается уменьшение ресурса шины 66×43.00LR25 на 50 *км* пробега, а у шины 67×43.00LR25 ресурс изменяется незначительно от скорости движения. При увеличении внутреннего давления с 0,35 *МПа* до 1,1 *МПа* в шине 66×43.00LR25 наблюдается увеличение ресурса на 6%, а у шины 67×43.00LR25 ресурс увеличивается на 4%.

4. Установлено, что при угле армирования 22°, вместо угла равного 0°, у шин 66×43.00LR25 и 67×43.00LR25 ресурс увеличился на 4,1% и 1%, соответственно.

5. Определено, что наибольший ресурс 15770 *км* у шины 66×43.00LR25 будет при следующих параметрах: радиальная нагрузка 27000 *H*, внутреннее давление 0,17 *МПа*, скорость движения 11,11 *м/с*, угол армирования шины 22°. У шины 67×43.00LR25 наибольший ресурс составляет 15730 *км*: радиальная нагрузка 27000 *H*, внутреннее давление 0,30 *МПа*, скорость движения 11,11 *м/с*, угол армирования шины 22°.

6. Расчетный ресурс шины 66×43.00LR25 составляет 15130 *км/1008,6* моточасов, а шины 67×43.00LR25 – 15650 *км/1043,3* моточасов, что на 16-18% меньше, чем по данным руководящего документа РД 3112199-1085-02.

### Список литературы

1. Скорняков Э.С. Крупногабаритные шины автомобилей и тракторов: Монография. – Днепропетровск: Пороги, 2000. – 263 с.
2. Прочность и разрушение эластомерных конструкций в экстремальных условиях. – Киев: Наукова думка, 1988. – 232 с.
3. Запорожцев Л.В., Кленников Е.В. Износ шины и работа автомобиля. – М.: Машиностроение, 1971. – 217 с.
4. Сасов А.А. Прогнозирование выходных характеристик шин сверхнизкого давления для автомобилей и тракторов. – Дис... канд. техн. наук.– Киев, 2007. – 210 с.

Стаття надійшла до редакції 16.04.07  
© Сасов О.О., Коробочка О.М., 2007