

УДК 629.113.012.5

*Коханенко В.Б., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,  
Кривошей Б.И., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,  
Яковлев А.М., канд. техн. наук, ст. преп., УГЗУ*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ЗА СЧЕТ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

(представлено д-ром техн. наук Лариным А.Н.)

Определено, что для достижения результативности ликвидации последствий чрезвычайной ситуации (ЧС) необходим постоянный контроль технического состояния специальной техники. Для повышения ее технической готовности предлагается проводить контроль теплового состояния шин. Для поврежденных шин дается метод определения их остаточного ресурса по тепловому состоянию.

**Постановка проблемы.** Успех ликвидации последствий ЧС целиком и полностью определяется технической готовностью задействованной специальной техники. Техническая готовность включает в себя техническую исправность и определенный ресурс безотказной работы деталей, узлов и агрегатов техники, ее направленность эксплуатационными и огнетушащими жидкостями, укомплектованность необходимым ПТВ и специальным оборудованием.

Для ликвидации последствий ЧС часто используется специальная техника, ресурс которой находится на грани выработки. Шины автомобилей, составляющих большинство шасси специальной техники, за период эксплуатации накопили значительное количество усталостных повреждений. Кроме того, шины этой техники находятся в сложных условиях эксплуатации. При следовании к месту возникновения ЧС на них влияют повышенные скорости движения, перегрузки, отсутствие твердого дорожного покрытия. При ликвидации последствий ЧС они подвержены влиянию: тепловых потоков, пролитых химически активных веществ, множества камней, которые могут попасть между сдвоенными шинами, выступающей арматуры, битого стекла и других строительных материалов, которые зачастую приводят к проколам и порезам шин. В процессе эксплуатации размеры дефектов увеличиваются и,

Коханенко В.Б., Кривошей Б.И., Яковлев А.М.

став критическими, могут привести к преждевременному неподвижному выходу шины из эксплуатации. Ремонт или замена поврежденных таким образом шин в условиях ЧС практически не возможен. Поэтому, для предупреждения внезапного выхода шин из эксплуатации и повышения результативности ликвидации последствий ЧС возникает необходимость в определении оценки остаточного ресурса поврежденных шин и особенностей их эксплуатации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Инженерные способы оценки надежности и ресурса конструкций базируются на полуэмпирических соотношениях и правилах. Не является исключением и автомобильная шина.

Известны уравнения роста усталостных трещин Пэриса-Эрдогана или Формана [1], которые связывают скорость роста трещины с экстремальными значениями коэффициента интенсивности напряжений в пределах каждого цикла. Уравнения получены в результате обработки большого числа экспериментальных данных и содержат эмпирические постоянные, зависящие от свойств материала, окружающей среды и условий нагружения.

При циклическом нагружении шины рост расслоения или трещины по природе является скачкообразным. Постепенный рост трещины, как правило, происходит в моменты, когда силы, действующие на шину, принимают максимальные значения. Таким образом, рост трещины описывается дискретным процессом.

Однако, если не считать финального разрушения и больших скачков, обусловленных резким увеличением нагрузки (наезд на препятствие, удар о край выбоины), усталостные трещины растут достаточно медленно.

Поэтому при практических расчетах можно заменять ступенчатые процессы роста трещин многоциклового усталости сглаженными или кусочно-непрерывными процессами.

**Постановка задачи и ее решение.** Механизм разрушения шины можно представить в виде накопления относительных перемещений слоев шины между плоскостями скольжения до тех пор, пока в направлении скольжения не появится трещиноподобное включение. Несколько микротрещин сливаются и развиваются дальше, чему способствует концентрация напряжений в вершине трещины.

Направление распространения микротрещин постоянно меняется к некоторому среднему направлению, перпендикулярно растягивающему максимальному напряжению.

В качестве допущения будем считать, что рост трещины сопровождается только одним типом ее деформации, преимущественно первым, при котором трещина раскрывается симметрично и относительные перемещения противоположных берегов перпендикулярны поверхности трещины.

Считаем, что циклическому изменению поля напряжений соответствует изменение коэффициента интенсивности  $\Delta K$  в пределах от  $K_{\max}$  до  $K_{\min}$ . Геометрия трещины определяется только ее длиной  $l$ , так, что текущая интенсивность роста трещины определяется приращением длины за оборот колеса скоростью роста  $dl/dN$ .

При высказанных предположениях введем функциональную зависимость [2]:

$$\frac{dl}{dN} = f(\Delta K, K_{\max}, K_c, \Delta K_{th}, E, \nu, \sigma_T, \sigma_B, \sigma_d, m), \quad (1)$$

где  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $\sigma_T$  - предел текучести материала;  $\sigma_B$  - предел выносливости материала;  $\sigma_d$  - пластичность материала;  $K_c$  - вязкость разрушения;  $m$  - показатель упрочнения;  $\Delta K_{th}$  - пороговое значение коэффициента интенсивности напряжений для подрастания трещины.

Раскрытие трещины, при ее нагружении, определяется выражением [2]:

$$\delta = K_1^2 l (E \sigma_T), \quad (2)$$

а ее рост линейно зависит от ее раскрытия.

Если  $\delta$  в процессе нагружения шины превышает некоторое пороговое значение  $\delta_t$ , то постоянное приращение  $\Delta l$  длины трещины при разгрузке не меняется [2]

$$\Delta l \approx \delta_{\max} - \delta_t \quad (3)$$

С учетом выражений (2) и (3) получаем

$$\frac{dl}{dN} = \frac{A}{E\sigma_T} \left[ (\Delta K)^2 - (\Delta K_{th})^2 \right] \quad (4)$$

где  $A$  – константа материала [3].

Заменяя в последнем полученном выражении константу материала на коэффициент  $C_1$ , зависящий от числового параметра  $n$  [4], получим так называемый закон Пэриса

$$\frac{dl}{dN} = C_1 \left[ (\Delta K)^n - (\Delta K_{th})^n \right] \quad (5)$$

Определим соотношение, связывающее длину трещины  $l$  и число циклов  $N$  нагружения шины при заданном размахе цикла деформаций  $\varepsilon$ .

Считаем, что влияние порогового значения коэффициента интенсивности напряжений  $\Delta K_{th}$  для подрастания трещины мало, тогда интегрирование формулы (5) позволяет определить

$$N - N_0 = \int_{l_0}^l \frac{dl}{C_1 (\Delta K)^n}, \quad (6)$$

здесь  $N_0$  – число циклов, которые могут быть реализованы до создания трещины длиной  $l_0$ .

Число циклов до начала роста трещины  $N_0$  неизвестная величина, характеризующая наличие начальных дефектов в шине до начала эксплуатации, то есть характеристика качества производства шины.

Полное разрушение шины происходит в тот момент, когда максимальный коэффициент интенсивности напряжений равен вязкости разрушения.

Если считать, что размах коэффициента интенсивности напряжений для внутренней трещины эллиптической формы определяется по зависимости [5]

$$\Delta K = 1,12\varepsilon\sqrt{\pi l} / E_2, \quad (7)$$

здесь  $E_2$  – полный эллиптический интеграл второго рода от аргумента  $\sqrt{1 - (\delta/2)^2 / (l/2)^2}$ , то после подстановки (7) в (6) и интегрирования получим

$$N = \begin{cases} \frac{l_0}{C_1 (1,12\varepsilon\sqrt{\pi l_0} / E_2)^n (n-2)} \left[ 1 - \left( \frac{l_0}{l} \right)^{n/2-1} \right] & , n > 2; \\ \frac{l_0}{C_1 (1,12\varepsilon\sqrt{\pi l_0} / E_2)^n} \ln \frac{l}{l_0} & , n = 2 \end{cases} \quad (8)$$

В случае, если критическая длина трещины значительно больше начальной ( $l_c \gg l_0$ ), число циклов до разрушения определится зависимостью

$$N_c = \frac{l_0}{\varepsilon^n} \left\{ C_1 \left[ \sqrt{\pi l_0} \frac{1,12}{E_2} \right]^n \left( \frac{n}{2} - 1 \right) \right\} \quad (9)$$

Пробег шины до полного разрушения в результате развития дефекта до критического значения равен

$$L = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \pi R_k \frac{l_0}{\varepsilon^n} \left\{ C_1 \left[ \sqrt{\pi l_0} \frac{1,12}{E_2} \right]^n \left( \frac{n}{2} - 1 \right) \right\}, \text{ тыс. км} \quad (10)$$

Учитывая, что деформации можно определить через температуру [6]

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{2C\rho_{\Delta}t}{0,15E_{\infty} \nu_{\Delta} \tau}}, \quad (11)$$

и подставив выражение (11) в (10), получим окончательную формулу для определения пробега шины до полного разрушения через температуру

$$L = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\pi R_k l_0}{\left( \sqrt{\frac{2C\rho_{\Delta} t}{0,15E_{\infty} \nu_{\Delta} \tau}} \right)^n} \left\{ C_1 \left[ \sqrt{\pi l_0} \frac{1,12}{E_2} \right]^n \left( \frac{n}{2} - 1 \right) \right\}, \text{ тыс. км} \quad (12)$$

Результаты расчетов температурных полей различных шин с радиальным и окружным дефектами представлены на рис. 1 и 2.

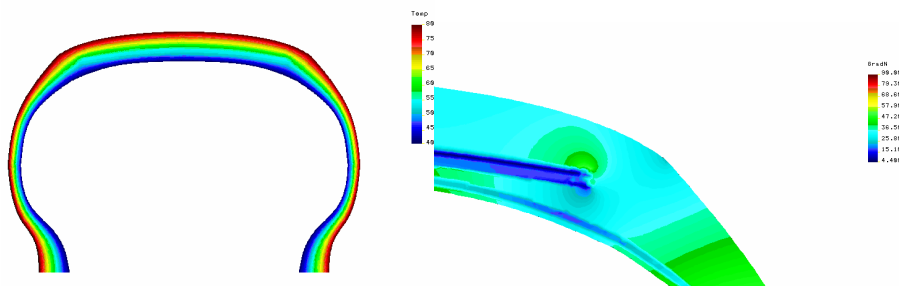


Рис. 1 – Распределение температуры шины 210×508R в зоне брекерного плеча

Из рис. 1, на котором представлено распределение температуры шины 210×508R в зоне брекерного плеча, следует, что наибольшие температуры находятся в плечевой зоне и в зоне кромок брекера. Характерно, что данный всплеск напряжения находится в зоне повышенного температурного состояния шины и может представлять опасность для дальнейшей эксплуатации шины. Высокие температуры в шине развиваются в протекторной части. Температура незначительно зависит от внутреннего давления воздуха в шине. В большей степени температура увеличивается в зависимости от увеличения нагрузки, так как она зависит от степени сжатия протектора. Увеличение составляет до 12% у грузовой шины и до 8% у легковой [7]. Снижение температуры протектора шины наблюдается по мере его износа, но полный износ протектора ухудшает теплоотдачу с поверхности до 10% [7].

Из рис. 2, где представлены температурные поля в шине 210×508R с дефектами, следует, что наличие дефекта повышает термонапряженное состояние шины. Причем, наибольшее температурное состояние окружного дефекта будет в той части, которая расположена ближе к протектору шины.

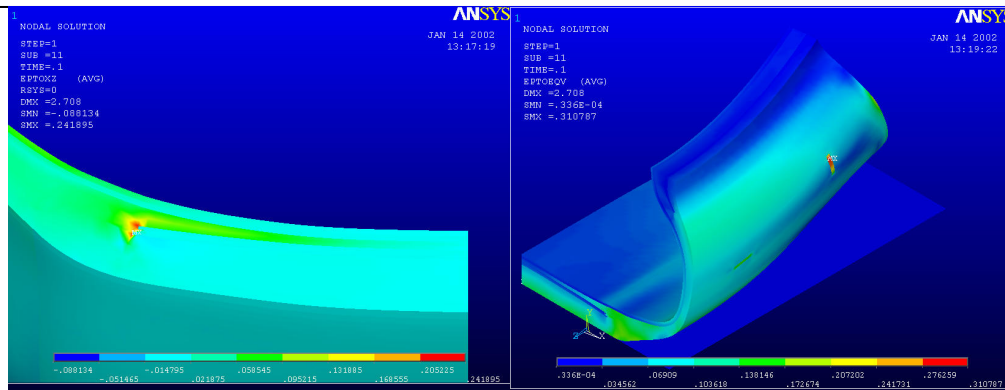


Рис. 2 – Температурные поля в сечении и на поверхности шины 210×508R в области ее радиального и окружного дефектов

Таблица 1 – Прогнозируемый остаточный пробег шины 210×508R с дефектом

Длина, мм	Расположение	Приращение температуры, °C	Критический размер, мм	Оставшийся пробег, тыс. км
Линейный дефект на боковине шины				
10	Радиальное	3,5	50	22,6
10	Окружное	4,1	50	19,8
20	Радиальное	6,4	50	9,4
20	Окружное	7,2	50	8,2
30	Радиальное	7,6	50	4,6
20	Окружное	8,2	50	3,9
Внутренний круговой дефект в плечевой зоне шины				
3	Кромки брекера	7,4	15	27,7
5		9,6	15	21,3
10		12,4	15	8,1

Прогнозируемый остаточный пробег шины 210×508R с различными видами дефектов, полученный в результате расчетов, сведен в табл. 1.

По значениям табл. 1 построены гистограммы распределения остаточного пробега шины 210×508R с дефектом, представленные на рис. 3.

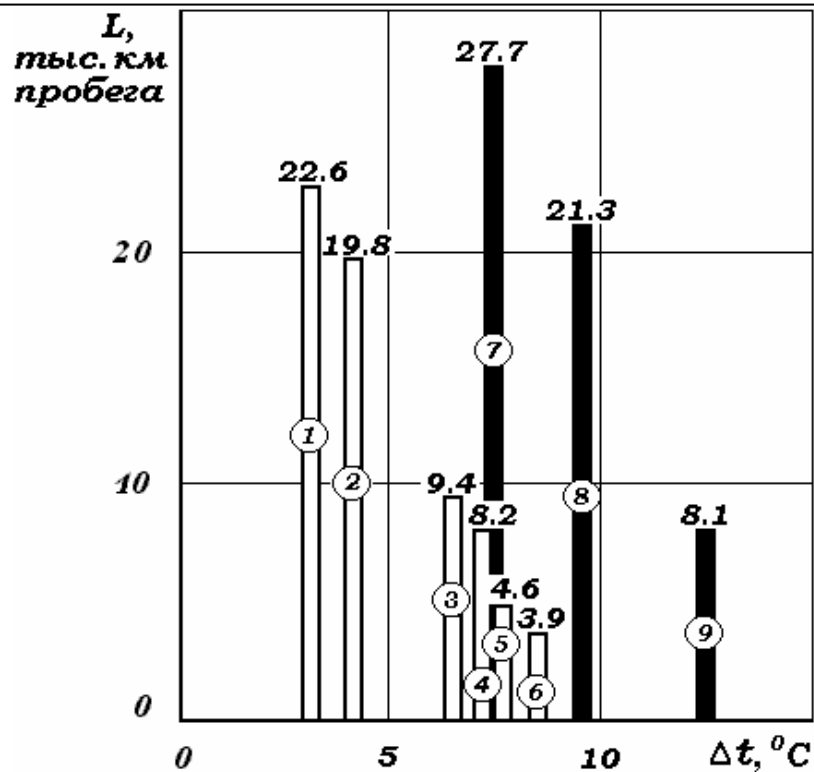


Рис. 3 – Прогнозируемый остаточный пробег шины 210×508R с линейным дефектом на боковине - □ и с круговым дефектом в плечевой зоне - ■ до развития его критического размера: 1, 2 – дефекты длиной 10 мм радиального и кругового расположения соответственно; 3, 4 – дефекты длиной 20 мм радиального и кругового расположения соответственно; 5, 6 – дефекты длиной 30 и 20 мм радиального и кругового расположения соответственно; 7, 8, 9 – дефекты на кромках брекера длиной 3, 5, 10 мм соответственно

**Выводы.** По характеру, размерам и месту расположения дефектов в шине можно судить о ее работоспособности и определить остаточный пробег, что позволит своевременно изымать из эксплуатации поврежденную шину и избежать непредвиденного ее выхода из эксплуатации, особенно, при ликвидации последствий ЧС. В случае невозможности изъятия поврежденной шины из эксплуатации, следует переставить ее на менее ответственное место расположения на автомобиле. Например, с передней оси автомобиля шину возможно переставить либо на ось прицепа, либо на заднюю ось автомобиля, где установлены сдвоенные шины, и на поврежденную шину будут воздействовать меньшие нагрузки.

Достоверный результат о величине оставшегося пробега шины до выхода из эксплуатации зависит от выбора критического размера дефекта, который может быть определен либо из опыта экс-

Обеспечение результативности ликвидации последствий чрезвычайной ситуации за счет повышения технической готовности специальной техники



плуатации шин, либо исходя из требований, предъявляемым к приему шины на восстановительный ремонт.

Эксплуатация шины, после определения оставшегося ресурса, должна осуществляться без превышения нормальных условий нагруженности работы шины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сиратари М., Миеси Т., Мацусита Х. Вычислительная механика разрушения. Пер. с англ. под ред. Морозова Е.Н. – М.: Мир. – 1986. – 333 с.
2. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение. – 1990. – 448 с.
3. Хеллан К. Введение в механику разрушения. Пер. с англ. под ред. Морозова Е.Н. – М.: Мир, 1988. – 364 с.
4. Сиратари М., Миеси Т., Мацусита Х. Вычислительная механика разрушения. Пер. с англ. под ред. Морозова Е.Н. – М.: Мир. – 1986. – 333 с.
5. Морозов Е.Н., Никишов Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. – М.: Наука, 1980. – 256 с.
6. Индейкин Б.А. Применение теплофизических методов при разработке и испытаниях резины и пневматических шин : Дис... канд. техн. наук: 05.23.17 - М., 1974. - 209 с.
7. Ларін О.М. Теоретичні основи оцінки працездатності шин легкового автомобіля в експлуатації: Дис... докт. техн. наук: 05.22.20. - Харків. -2001. –312с.