

УДК 539.3:624.074.43:001.57

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В МЕРИДІОНАЛЬНОМУ ПЕРЕТИНІ ЛЕГКОВОЇ ШИНИ 205/70R14

Д.Л. Волчок, к.т.н., С.О.Дьяченко, Т.А. Чупілко, к.т.н.

**Постановка проблеми.** Відомо, що дуже важливим чинником, який впливає на безпеку руху в шині є температура. Вона впливає на властивості матеріалів і є основною причиною розшарування гумовокорду [1, 2]. При проектуванні шин досить часто застосовують натурний експеримент для визначення крапок розшарування. Це досить витратний процес. Тому вкрай необхідно застосування так званого модельного експерименту. В розрахунковому програмному комплексі, що розробив проф. Кваша Е.М., існує математична модель моделювання зміни температури в поперечному перетині шини. За допомогою цього програмного комплексу можливо дослідження режимів кочення легкої шини, а також визначення розподілу температур.

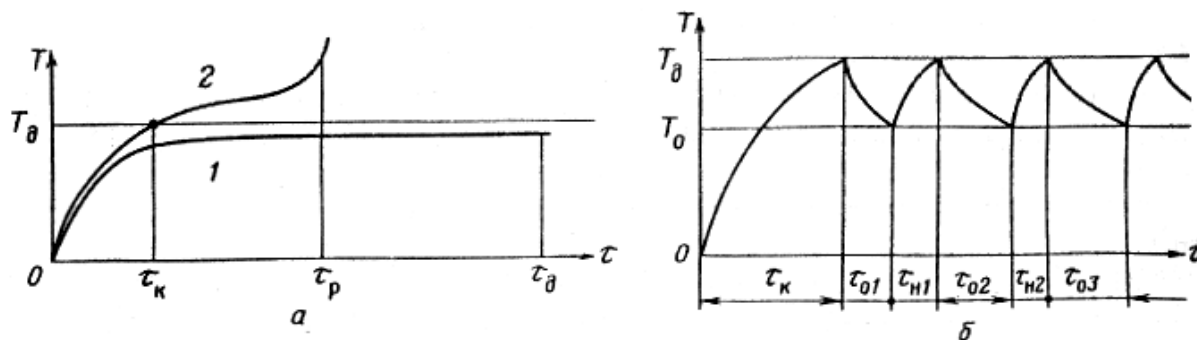
**Термодинамічні рівняння для пневматичних шин**

В процесі експлуатації шин напружено-деформований стан каркаса, підканавки і протектора циклічно змінюється (3-15). А у зв'язку з тим, що гума і корд мають гістерезисні властивості, відбувається нагрів шин.

Температура розігрівання є чинником, що впливає на зміну напружено-деформованого стану шини (наприклад, за рахунок підвищення внутрішнього тиску). Важлива її особливість те, що вона є критерієм, що впливає на працездатність, а також продуктивність шини.

Основні температурні режими, які можна спостерігати при коченні пневматичних шин, представлені на рис. 1.

Режим кочення, який є найсприятливішим, зображає крива 1 (рис. 1. а). Особливістю цього режиму є те, що при цьому режимі термодинамічний процес є стаціонарним і максимальна стала температура не приводить до передчасного виходу з ладу шини. Таким чином час експлуатації шини досягає свого максимального значення  $\tau = \tau_d$ , де  $\tau_d$  - допустимий (заданий) час експлуатації або ресурс шини.



**Рис. 1.** Основні температурні режими шини:  
а - стаціонарний (1) і нестаціонарний (2);  
б - висхідні криві - кочення шини, низхідні - зупинка для охолодження

Основною причиною виходу з ладу шин є термічне руйнування в зоні стику протектора з підканавочним шаром або каркасом. Режим кочення, результатом якого є руйнування, назвемо нестаціонарним (рис. 1, а, крива 2). Тут з'являється необхідність вживання конструктивних або технологічних заходів для того, щоб ресурс шини не був вичерпаний задовго до досягнення заданої величини.

При конструюванні шин основною задачею є побудова режимів експлуатації, що дозволяють отримати максимальну продуктивність при заданій температурі, що допускається. Тому необхідно мати експериментальні значення температур, що допускаються. Температури, що допускаються - це температури при яких не відбувається термодеструкції гуми і корду і зберігається необхідна міцність зв'язку між елементами шини. Володіючи інформацією про температуру  $T_d$ , що допускається, можна приступати до побудови режимів експлуатації шини

(рис. 1, б). Коли температура шини досягає тієї, що допускається, автомобіль необхідно зупинити для охолодження шини до деякої температури  $T_0$ . Слід помітити, що час охолодження значно більше часу нагріву шини після відновлення руху.

Порівняльні співвідношення між часом охолодження і нагріву в процесі руху виражаються так:

$$\tau_{01} < \tau_{02} < \tau_{03}, \dots, \tau_{07} \approx \tau_{08} \quad (1)$$

$$\tau_{n1} > \tau_{n2} > \tau_{n3}, \dots, \tau_{n7} \approx \tau_{n8} \quad (2)$$

$$\tau_{0n} \gg \tau_{nn} (n \rightarrow \infty)$$

На основі сформульованої фізичної задачі о коченні шини з урахуванням її розігрівання, побудуємо математичну модель процесу. В загальному випадку температурні поля шини є тривимірними і нестационарними. Рівняння зв'язаної динамічної задачі термопружності неоднорідного тіла, для каркаса шини з анізотропними властивостями, можна записати таким чином:

$$\sigma_{ij,j} = \rho \cdot (\partial^2 u_i / \partial \tau^2) - X_i; \quad (3)$$

$$\sigma_{ij} = b_{ijkl} \cdot e_{kl} - \beta_{ij} \cdot \theta; \quad (4)$$

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \cdot (u_{i,j} + u_{j,i} + u_{k,l} \cdot u_{k,j}); \quad (5)$$

$$C_v \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \lambda_{ij} \cdot \theta_{,ij} + \lambda_{ij,i} \theta_{,j} + q - T_0 \cdot \alpha_{kl} \cdot b_{ijkl} \cdot \left( \frac{\partial e_{ij}}{\partial \tau} \right) \quad (i, j, k, l = 1, 2, 3), \quad (6)$$

де  $\theta$  - приріст температури;  $T$  - температура;  $\tau$  - час;

$q$  - внутрішні джерела тепла.

Для вирішення задачі необхідні краєві і початкові умови. Краєві умови формулюються для двох випадків закріплення шини на ободі. Початкові умови полягають в завданні в початковий момент часу температури тіла, вектора переміщень і швидкості. Граничні умови теплообміну третього роду полягають в тому, що потік тепла через граничну поверхню повинен бути пропорційний різниці між температурою поверхні тіла і відомою температурою навколишнього середовища:

$$n_i \cdot \lambda_{ij} T_{,j} (P, \tau) + \alpha_s [T(P, \tau) - T_c(P, \tau)] = 0 (P \leq S), \quad (7)$$

де  $\alpha_s$  - коефіцієнт тепловіддачі з поверхні  $S$  тіла;

$n_i$  - компоненти вектора зовнішньої нормалі до цієї поверхні;

$T_c$  - температура середовища.

Граничні умови другого і першого роду одержуємо з (7) при  $\alpha_s \cdot T_c = q$ ,  $\alpha_s = 0$ ,  $\alpha_s \rightarrow \infty$  відповідно. Якщо нехтувати похідною деформацій за часом в рівнянні теплопровідності (6), то ми отримаємо незв'язану динамічну задачу термопружності анізотропного неоднорідного тіла:

$$\sigma_{ij,j} = \rho \cdot (\partial^2 u_i / \partial \tau^2) - X_i;$$

$$\sigma_{ij} = b_{ijkl} \cdot e_{kl} - \beta_{ij} \cdot \theta;$$

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \cdot (u_{i,j} + u_{j,i} + u_{k,l} \cdot u_{k,j});$$

$$C_P \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \lambda_{ij} \cdot T_{,ij} + \lambda_{ij,i} T_{,j} + q \quad (i, j, k, l = 1, 2, 3). \quad (8)$$

Перші три рівняння системи (8) формально не пов'язані з четвертим рівнянням теплопровідності. Вони описують напружено-деформований стан анізотропного неоднорідного тіла, що знаходиться під впливом силових навантажень і температури. Четверте рівняння залежить від перших трьох через внутрішні джерела тепла  $q$ . Потужність цих джерел визначається амплітудою деформації і формою циклу навантаження шини за один оберт.

Рішення зв'язаної термопружної задачі для тіл складної форми таких, як шина, поки скрутно навіть при застосуванні чисельних методів рішення на ЕОМ. Значного спрощення рішення вдається досягти для незв'язаної термопружної задачі (8), особливо якщо прийняти допущення, що температурне поле шини в окружному напрямі є симетричним. Для цього

випадку рівняння теплопровідності стає двомірним і в декартових координатах приймає наступний вигляд:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{q}{C_p}, \quad (9)$$

де  $a = \lambda / C_p$  – коефіцієнтом температуропровідності.

Вирішуючи ці рівняння необхідно ураховувати, що при розігріванні температура повітря в замкнутій порожнині шини підвищується а, отже, внутрішній тиск також зростатиме. Відповідно до рівняння газового стану внутрішній тиск може бути визначений по наступній формулі:

$$P_2 = P_1 + (T_2 - T_1) \cdot (P_1 + 1) / T_1, \quad (10)$$

де:  $T_1, T_2, P_1, P_2$  - температура повітря в шині і внутрішній тиск відповідно на початку і кінці кочення.

### Результати розрахунків

Наші розрахунки показали, що за запропонованих умов експлуатації і правильного тиску температура знаходиться в межах норми. Для оцінки характеру розподілу температур в біговій зоні шини розглянемо два випадки. Перший, коли внутрішньо тиск дорівнює 200 кПа (табл. 1), другий – 230 кПа (табл. 2).

Таблиця 1

Температура в біговій зоні шини 205/70R14 (при внутрішньому тиску 200 кПа), °C

Назва шару	кут .....корона							
Низ каркаса	40.1	59.6	73.4	82.1	85.3	83.1	81.3	79.7
Верх каркаса	40.0	59.6	73.4	82.1	85.3	83.1	81.3	79.7
Середина брекера	31.2	48.7	61.3	69.3	72.6	71.3	70.1	69.0
Верх брекера	27.1	37.9	46.0	51.3	54.0	53.8	53.6	53.4
Підканавка	24.0	28.7	32.6	35.5	37.4	38.4	39.1	39.6
Середина протектора	22.2	24.3	26.3	28.1	29.8	31.2	32.3	33.2
Верх протектора	21.4	22.2	22.8	23.5	29.8	31.2	32.3	33.3

Таблиця 2

Температура в біговій зоні шини 205/70R14 (при внутрішньому тиску 230 кПа), °C

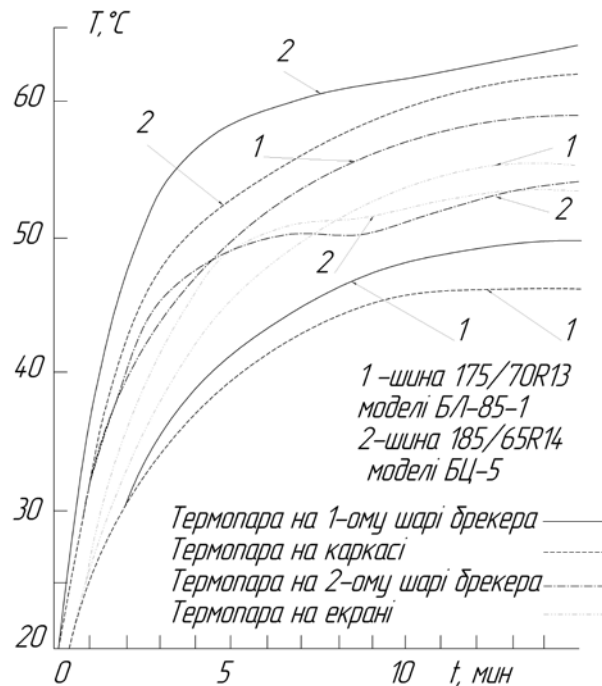
Назва шару	кут .....корона							
Низ каркаса	42.7	65.0	80.6	90.3	93.8	91.1	88.9	87.1
Верх каркаса	42.7	65.0	80.6	90.3	93.8	91.1	88.9	87.1
Середина брекера	31.9	50.7	64.2	72.8	76.4	75.0	73.8	72.7
Верх брекера	27.1	37.8	45.9	51.4	54.1	54.2	54.2	54.0
Підканавка	23.8	28.2	31.9	34.8	36.8	38.0	38.9	39.5
Середина протектора	22.2	24.2	26.2	28.0	29.7	31.2	32.4	33.4
Верх протектора	21.4	22.1	22.8	23.4	29.7	31.2	32.4	33.5

У цих таблицях довжина дуги корона-кут умовно розділена на 8 рівних частин. Дасться розподіл температури по шарах шини і для кожної частини умовного розділення.

Для оцінки правильності отриманих результатів необхідне порівняння з експериментом. На жаль експериментальних даних по досліджуваній шині немає, але є експериментальні дані шин близьких по конструкції. Ці данні були отримані проф. Коханенко В.Б., проф. Юрченко А.М. та доц. Ларіним О.М. Тому можна скористатися так званим методом масштабного моделювання. Коли основні показники шини оцінюються по близькій конструкції шини меншого розміру. З представлених моделей (рис. 1) найбільш близька до нашої шини шина 185/65R14, представлена під номером 2, оскільки вона має велику ширину профілю, а отже і близьку за розмірами контактну зону.

Як ми бачимо дуже близькі температури в брекерній зоні і трохи більше 10°C різниця в температурі каркаса. Подібну розбіжність можна пояснити способом вимірювання температури

в каркасі, в якому виконати вимірювання точно досить складно.



**Рис. 2.** Експериментальні дослідження температур легкових шин

### Висновки

З табл. 1 і 2 для шини 205/70R14 можна зробити висновок, що найбільше розігрівання випробовує нижня і верхня частини каркаса в зоні що знаходиться приблизно на відстані 5/8 довжин дуги «корона-кут» від кута протектора. Така тенденція спостерігається при всіх варіаціях внутрішнього тиску шини. Це дозволяє зробити висновок, що нами локалізована зона можливого розшарування для випадків, коли внутрішній тиск в шині 205/70R14 спускається до критично низького значення. На основі цих даних можна пропонувати відповідні технічні рішення з метою збільшення безпеки досліджуваної шини.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Автомобильные шины /Под ред. В.Л. Бидермана. - М.: Наука, 1963. -384 с.
2. Бакфиш К.П., Хайнц Д.С. Новая книга о шинах. – М.: Астрель, 2003.-303с.
3. Кваша Э.Н. Контакт пневматической шины с упругим основанием // Проблемы шин и резинокордных композитов: Тезисы докладов 1 - ой Всесоюзной конференции. - М.: НИИШП, 1989. - С. 72 - 79.
4. Кваша Э.Н. Напряженно-деформированное состояние шины, взаимодействующей с грунтом // Совершенствование качества и технологии производства крупногабаритных автомобильных и сельскохозяйственных шин: Сборник научных трудов. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990. - С. 97 - 103.
5. Кваша Э.Н. Термонапряженное состояние металлокордных пневматических шин // Численные методы и математическое моделирование тепло-массопереноса: Сборник научных трудов. - Днепропетровск, Изд. ДГУ, 1991. -С. 101-106.
6. Кваша Э.Н. Развитие механики пневматических шин в Украине с 1970 по 2000 годы // Труды 10 симпозиума "Проблемы шин и резинокордных композитов". 18-22 октября 1999г - Москва, НИИ Шинной промышленности, 1999. -С. 116-126.
7. Кваша Э.Н., Погасий Е.А. Математическая модель шины, учитывающая физическую нелинейность корда // Сб. трудов Пятого симпозиума по проблемам шин и резинокордных композитов. - М.: НИИШП, 1993. - С. 97-103.
8. Кваша Э.Н., Погасий Е.А. Контакт пневматической шины с упругим полупространством // Шестой симпозиум "Проблемы шин и резинокордных композитов.

Математические методы в механике, конструировании и технологии" - Москва, НИИ шинной промышленности, 1995. - С. 122-127.

9. Кваша Э.Н., Прусаков А.П. Некоторые контактные задачи слоистых тороидальных оболочек // Статика сооружений: Сборник научных трудов. - Киев: Изд-во КИСИ, 1978. - С. 127 - 129.

10. Кваша Э.Н., Плеханов А.В., Прусаков А.П. Неклассический вариант моментной теории пневматических шин // Международная конференция по каучуку и резине. - М.: 1984. - Препринт В50.

11. Кваша Э., Плеханов А., Погасий Е. Контактное взаимодействие анизотропной тороидальной оболочки с упругим полупространством // Украинско -Польский семинар «Теоретические основы в строительстве». - Варшава, 1995. -С. 70 - 74.

12. Кваша Э.Н., Волчок Д.Л. Применение математической модели при определении температурных режимов эксплуатации резинокордной оболочки - шины 33.00-51//Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - Вып. 11/2005(83).- Дн-вск.: - 2005. -С. 26-31.

13. Кваша Э.Н., Волчок Д.Л. Механика восстановленных резинокордных оболочек пневматических шин // Теоретичні основи будівництва. -Дн-ськ: ПДАБтаА. -2005 -№13. -С. 151-156.

14. Кваша Э.Н., Волчок Д.Л. Влияние износа протектора на выходные показатели оболочки крупногабаритной шины//Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - Вып. 3/2005(86).- Дн-вск.: -2005. -С. 32-37.

**УДК 539.3:624.074.43:001.57**

**Дослідження розподілення температури в меридіональному перетині легкової шини 205/70r14 / Д.Л. Волчок // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 2008.-№. -С. -. –Табл. 1. -Бібліогр.: (14 назв.).**

В статті розглядаються питання дослідження температурного стану легкової шини. Представлення математична модель. Виявлені точки максимальних температур та проведені порівняння з експериментальними дослідженнями інших авторів.