М 282 869

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ им. Н.Э. БАУМАНА

УДК 629.113.012.55.001.5

КАЧУГИН Владимир Евгеньевич

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ КАТЯЩЕЙСЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНЫ

(Специальность 05.05.03 – Автомобили и тракторы)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва
1975

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им.Н.Э.Баумана и Центральном ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском автомобильном и автомоторном институте.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор А.А.Липгарт

Научный консультант – кандидат технических наук, старший научный сотрудник И.П.Петров.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор В.Л.Бидерман,
кандидат технических наук
Е.В.Кленников.

Ведущее предприятие: Московский шинный завод.

Автореферат разослан "20" февраля 1976 г.

[illegible] февраля 1976 г.

[illegible]торско-механического

[illegible]ого училища им. Н.Э.

[illegible] библиотеке МВТУ им.Ба-

[illegible]плярах, заверенные пе-

[illegible]ресу: 107005, г.Москва,

[illegible]мана, конструкторско-

[illegible].

Л.Колобов

[illegible]ак. 2660. Тир. 120 экз.

М282869

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Тепловое состояние шины в процессе работы является одной из её важнейших эксплуатационных характеристик, так как оно определяет ходимость шин, безопасность езды, расход топлива автомобилем. Разработка методики расчета теплового состояния позволила бы подойти к обеспечению в эксплуатации оптимального теплового состояния шин и решить ряд других задач.

Цель работы - используя сочетание теоретических и экспериментальных методов исследования, углубить физические представления о тепловом состоянии шины и получить простые и наглядные, пусть на первом этапе приближенные, расчетные зависимости температуры и времени прогрева от основных параметров конструкции и режима качения - в первую очередь, от основных размеров и скорости, а также сопротивления качению от размеров.

Научная новизна. В работе впервые теоретически решен ряд вопросов исследования тепловых процессов в шине, в результате чего установлены искомые расчетные зависимости, а также получен ряд новых экспериментальных данных, относящихся к тепловому состоянию шин.

Практическая ценность. Результаты исследования, в том числе рекомендации по инженерной методике расчета, могут быть использованы при конструировании шин, выборе шин для автомобиля, уточнении норм их эксплуатационных режимов, при разработке методик испытаний шин и автомобилей.

Апробация работы и публикации. По теме диссертации сделано 4 доклада, в том числе, на отраслевом научно-техническом семинаре по температурным режимам шин, опубликовано 4 статьи и одна принята к печати.

Объём работы. Основной текст диссертационной работы изложен на 137 стр. машинописного текста. Работа содержит 6 таблиц и 116 илл., состоит из введения, четырёх разделов, рекомендаций по инженерной методике расчета и выводов. Материал приложений занимает 70 стр.

В списке использованной литературы - 129 названий.

1282869

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
1282869
Качурин В.Е. Аналитическое

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатационные характеристики шин влияют практически на все показатели автомобиля. В свою очередь, тепловое состояние шины в процессе работы непосредственно влияет на все ее основные эксплуатационные характеристики: прочность (падает вблизи критической температуры около 120°С в несколько раз), износостойкость, сопротивление качению (падает при прогреве до 1,5 раз и более), жесткостные характеристики во всех направлениях и др. Особенно остро вопросы зависимости работоспособности от температуры ставятся для крупногабаритных шин.

Учитывая массовость выпуска шин, их высокую стоимость (25-30% первоначальной стоимости и 10-15% эксплуатационных расходов на комплект шин грузового автомобиля) и поставленную в Директивах XXIУ съезда КПСС задачу повышения ходимости отечественных шин на 20-25% ясно, что обеспечение оптимального теплового состояния шин, в частности, путем создания методики его расчета, имеет важное народнохозяйственное значение. Однако, до 1968 г. не известно ни одной попытки прямого теоретического решения задачи о расчете температуры и связанной с ней задачи количественного расчета потерь качения в шине. К числу первых работ относятся работы В.И.Сороко-Новицкого (1929 г.) и М.О.Корнфельда (1940 г.). Значительный вклад в изучение теплового состояния шин внесли работы И.И.Гальченко, В.И.Новопольского, Л.С.Глускиной, Р.Л.Гуслицера, М.К.Хромова, Э.И.Грачевой, А.А.Шершнева, Л.Ф.Нодельман, Г.П.Котельникова, И.Б.Никитиной, В.Л.Бидермана, А.И.Лукомской, Л.С.Приса, В.А.Беляевой и др. Из зарубежных работ отметим немецкие работы (Райнера, Веше и др.), работы Стилера, Корла, Конанта (США, Швеция) и теоретическую работу Н.М.Тривисонно (1970г.,США).

Раздел I. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ШИНЕ ПРИ УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ КАЧЕНИЯ

Ниже всюду рассматривается случай качения колеса в ведомом режиме по ровной твердой опорной поверхности, температура которой равна температуре окружающего воздуха $t_в$.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

МВТУ ... БИБЛИОТЕКА

Под установившимся режимом понимается режим качения с постоянными параметрами: начальным давлением, нагрузкой и скоростью ($p^{нач}$, G, $V_o = Const$), при котором тепловой процесс в шине возобновляется с каждым циклом (оборотом) в неизменном виде.

I. Для расчета среднего по поверхности шины коэффициента теплоотдачи $\alpha_{ср}$ получена формула:

$$\alpha_{ср} = K_\alpha \frac{\lambda_в}{\nu_в^{0,6}} \cdot \frac{V^{0,6}}{B^{0,4}} \qquad (B<0,4м\ ,\ v>5км/ч),$$

где $\lambda_в, \nu_в$ -средние теплопроводность и кинематическая вязкость воздуха, B - ширина профиля шины,

K_α - эмпирический коэффициент, учитывающий способ усреднения, а также увеличение теплоотдачи за счет дополнительной турбулизации потока воздуха на неровностях рисунка и излучения.

2. Для элемента пограничного слоя шины, т.е. слоя, в котором наблюдается резкое изменение температуры в течение оборота колеса за счет чередования контакта с дорогой и воздухом (Рис.I),

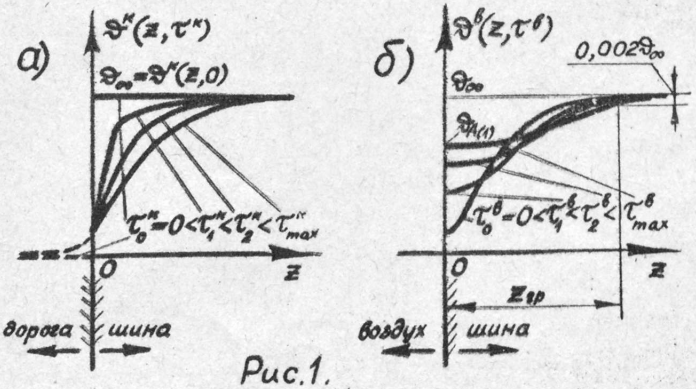


Рис.1.

решается уравнение теплопроводности $\vartheta'_\tau(z,\tau) = a_o \vartheta''_{zz}(z,\tau)$ (ϑ -избыточная температура шины, $\vartheta = t_ш - t_в$, z -глубина от поверхности беговой дорожки, τ - время) при допущениях о постоянстве теплопроводностей $\lambda_{ш,д}$ и объемных теплоемкостей $c_{ш,д}\rho_{ш,д}$ шины и дороги, об отсутствии проскальзывания в области контакта, о плотном контакте резины протектора с шероховатой поверхностью опоры. Допущения оцениваются расчетом и экспериментальными данными. Глубина погранслоя $z_{гр} \sim 1/\sqrt{\omega}$, x)

x) , $\sim$ означает "пропорционально" или "примерно пропорционально".

где ω - угловая скорость качения. По полученным формулам:

$$\vartheta_i^к(z,\tau^к)=\frac{1}{2\sqrt{\pi a_0 \tau^к}}\int_0^\infty \vartheta_{i-1}^в(\xi,\tau_{max}^в)\left[e^{-\frac{(\xi-z)^2}{4a_0\tau^к}}-e^{-\frac{(\xi+z)^2}{4a_0\tau^к}}\right]d\xi,$$

$$\vartheta_i^в(z,\tau^в)=\frac{1}{2\sqrt{\pi a \tau^в}}\int_0^\infty \vartheta_i^к(\xi,\tau_{max}^к)\left[e^{-\frac{(\xi-z)^2}{4a_0\tau^в}}+e^{-\frac{(\xi+z)^2}{4a_0\tau^в}}\right]d\xi,$$

рассчитан процесс для нескольких последовательных циклов на ЭЦВМ "Минск-22". Распределение удельных тепловых потоков по области контакта $q^к(x^к,y^к)$ и температур по окружности выступов в воздухе имеет характер Рис.2 и мало отличается для асфальта и стали, если не учитывать шероховатость.

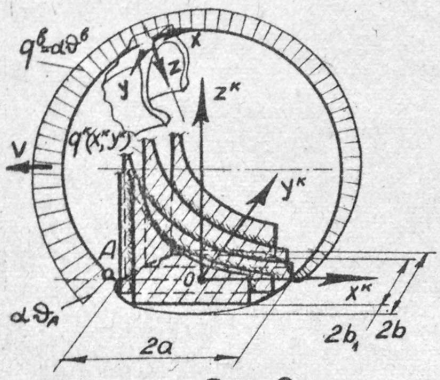


Рис.2.

3. Тепловой поток в дорогу рассчитывается при допущении о форме пятна контакта в виде срезанного эллипса (Рис.2) с использованием эквивалентного коэффициента насыщенности рисунка η. Интегрирование дает аналогичную структуру формул тепловых потоков для дороги ($Q^к$) и воздуха с поверхностей выступов ($Q^в_\eta$), впадин ($Q^в_{1-\eta}$) и боковин ($Q^в_\delta$):

$$Q^к=K^к_{нд}\iint_{F_\eta} q^к(x^к,y^к)dx^к dy^к = 2{,}8K^к_{нд}\vartheta_A \varepsilon_{ш,д}\eta b\sqrt{a'}\sqrt{v},$$

$$Q^в_\eta=\iint_{F^в_\eta}\alpha\vartheta dF^в \approx 3{,}3K_\alpha\vartheta_A\frac{\lambda_в}{\nu_в^{0,6}}X\eta\frac{2b_1}{b}DB^{0,6}v^{0,6},$$

$$Q^в_{1-\eta}\approx\alpha\vartheta_\infty\psi_{1-\eta}\pi D2b_1,\quad Q^в_\delta\approx 0{,}9\alpha\vartheta_\infty\pi DB,\quad Q^в_\eta+Q^в_{1-\eta}+Q^в_\delta=Q^в,$$

(ϑ_A - на поверхности по центру перед моментом входа в контакт, ϑ_∞ - в точках массива, прилегающих к пограничному слою, $\varepsilon^{-1}_{ш,д}=\frac{\gamma}{\sqrt{c_ш\rho_ш\lambda_ш}}+\frac{1}{\sqrt{c_д\rho_д\lambda_д}}$, $K^к_{нд}$ - коэффициент неодномерности в контакте, $X=X(b_1/b)\approx 0{,}80\div0{,}95$, D - наружный диаметр шины, $\psi_{1-\eta}$, см.ниже).

Отношение тепловых потоков в дорогу ($Q^к$) и воздух ($Q^в$) зависит от относительных размеров контакта, геометрии протектора, мало зависит от скорости и не зависит от температуры. $\vartheta_A/\vartheta_\infty$ зависит от a/D. Оценено распределение тепловых потоков в долях от $Q^+=\sum Q$ для шины 260-20 с универсальным рисунком.

4. При установившемся тепловом режиме получено:

$$\vartheta_{\infty}^{уст}=\frac{AP_{f}^{уст}v_{0}^{0,4}}{\left(2{,}8K_{нд}^{к}\frac{\vartheta_{A}}{\vartheta_{\infty}}\gamma\varepsilon_{ш,в}\eta\frac{b\sqrt{a}}{D\sqrt{B}}\cdot\frac{1}{B^{0,1}v_{0}^{0,1}}+\frac{\lambda_{в}}{v_{в}^{0,6}}\psi\right)DB^{0,6}}, \quad (1)$$

где $A=\frac{1}{427}$ ккал/кгс·м , $P_{f}^{уст}$ – величина установившейся силы сопротивления качению, γ учитывает теплоотдачу от беговой дорожки к воздуху камеры. Коэффициенты ψ и $\psi_{1-\eta}$ учитывают геометрию протектора, распределение температуры по поверхности, турбулизацию и излучение . Их, как и $K_{нд}^{к}$, γ, $\vartheta_{A}/\vartheta_{\infty}$, следует считать эмпирическими. Характер зависимости $\vartheta_{\infty}^{уст}(v_{0})$ соответствует Рис.3.

5. Оценка распределения температуры по глубине основного массива покрышки z может быть выполнена путем решения стационарной одномерной задачи для однородной однослойной пластины, т.е. решением уравнения $\vartheta''(z)=-q^{+}(z)\frac{1}{\lambda_{ш}}$($q^{+}(z)$, ккал/м³сек – удельная мощность источников тепла, средняя за оборот, $\lambda_{ш}$ – среднее арифметическое теплопроводностей протектора и каркаса-брекера перпендикулярно слоям). Для обоснования этого доказана

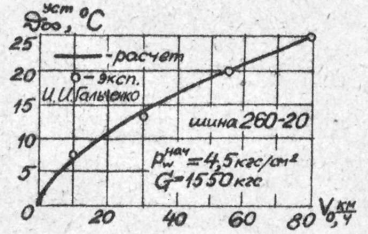


Рис.3.

следующая общая теорема.

Теорема. Стационарная часть периодически изменяющегося поля температуры $\vartheta(x,y,z,\tau)$ удовлетворяет стационарному уравнению теплопроводности, которое получается из исходного общего уравнения $\vartheta'_{\tau}=a_{0}\nabla\vartheta+q^{+}(x,y,z,\tau)\frac{1}{c_{ш}\rho_{ш}}$ путем отбрасывания производной по времени ϑ'_{τ} и замены функции источника q^{+} ее стационарной частью (средним уровнем).

При этом расчеты показывают, что колебание температуры за оборот не превышает величины порядка 0,01°С. Поэтому решением стационарного уравнения можно и ограничиться.

$$\vartheta^{уст}(z)=\vartheta_{\infty}^{уст}+K_{нд}\frac{q^{+}\delta^{2}}{\lambda_{ш}}\left(\frac{1}{\gamma}\cdot\frac{z}{\delta}-\frac{1}{2}\cdot\frac{z^{2}}{\delta^{2}}\right), \quad q^{+}=\chi\frac{AP_{f}^{уст}v_{0}}{\pi DB\delta}, \quad (2)$$

$$\vartheta_{max}^{уст}=\vartheta_{\infty}^{уст}+K_{нд}\frac{q^{+}\delta^{2}}{2\lambda_{ш}}\cdot\frac{1}{\gamma^{2}} \quad при \quad \frac{z}{\delta}=\frac{1}{\gamma}, \quad (3)$$

где $K_{нв}$ - коэффициент, учитывающий перераспределение интенсивности источника по ширине беговой дорожки, δ - ее толщина по центру, χ - доля потерь в ней, $\frac{1}{\delta-1}=\Gamma=-\frac{\vartheta'(0)}{\vartheta(\delta)}$.

Между теплопроводностями протектора и остальной части наблюдаются заметные отличия, однако решение соответствующей двухслойной задачи дает уточнение в величинах максимальной температуры не более 2%, а глубины ее расположения - 5%.

Параболическое распределение (2) удовлетворительно подтверждается экспериментом (Рис.4). При изменении условий теплоотвода снаружи, т.е. и ϑ_∞, парабола целиком сдвигается вдоль оси ординат. Для грузовых шин роль второго слагаемого, содержащего толщину δ и теплопроводность $\lambda_ш$ в несколько раз выше, чем первого.

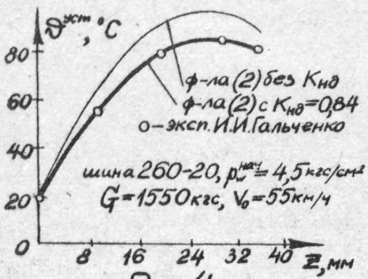


Рис.4.

6. Для оценки скорости воздуха в камере U и относительной теплоотдачи в нее $\frac{1}{\Gamma}$ получены формулы:

$$U^{1,75}\approx\frac{1}{0{,}316\pi}\cdot\frac{\varepsilon}{\nu_в^{0,25}}\cdot\frac{B'^{1,25}}{2r'}\left(1-\frac{B'}{2r'}\right)V^2,\quad\frac{1}{\Gamma}\approx\frac{\alpha^{км}}{\alpha}\approx\left(\frac{u_{max}}{V}\right)^{0,6}\approx 0{,}3\sqrt{\frac{h}{D}}\,Re_{v,B}^{\frac{1}{12}},$$

где ε - коэффициент сопротивления зоны сужения сечения, B' и r' - внутренние ширина и радиус сечения, h - прогиб шины ($D\approx 4B$).

Для шины 260-20 при V = 117 км/ч и h/B = 0,1 $U\approx$ (1,5÷3,2) м/сек = (6,4÷10)% V , $\Gamma\approx$ 7,8÷8,4. Величины скорости согласуются с рассчитанными в работе Н.М.Тривисонно, а Γ - с анализом градиентов температурного поля шины по экспериментальным данным. Увеличение вдвое теплоотдачи через обод снижает $\vartheta_{max}^{уст}$ на величину порядка 15%.

Наконец, т.к. ϑ практически не зависит от $t_в$, то $t_в$ входит отдельным слагаемым в $t_ш(t_в)=\vartheta+t_в$.

Для получения зависимости температуры от размеров и скорости не хватает зависимости P_f от размеров и температуры.

Раздел II. О МЕТОДАХ ПОДОБИЯ И ПЕРЕСЧЕТАХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИН С ОДНИХ РАЗМЕРОВ И УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ НА ДРУГИЕ

I. Показано, что при наличии полного подобия нагруженных шин и при одинаковом тепловом состоянии и скорости $P_f^{\vartheta,хол}\sim L^2$, а

$$\vartheta_{max}^{уст} = P_f^{уст}\left(E_1\frac{V_0^{0,4}}{L^{1,6}} + E_2\frac{V_0}{L}\right) \approx M_1(LV_0)^{0,4} + M_2 LV_0 \approx M_0\sqrt{LV_0} + M_2 LV_0 \approx M_3 LV_0 \quad (4)$$

($E_{1,2}$ $M_{0,1,2,3}$ — коэффициенты), т.е. для грузовых шин $\vartheta_{max}^{уст}$ ориентировочно пропорциональна произведению характерного размера L на скорость.

Для неподобных шин условием сравнения является наличие аффинного подобия в широком смысле слова (АПШ). Получены условия, обеспечивающие наличие приближенного аффинного подобия распределения необратимых потерь в единицах объема материала холодных шин за оборот $\Delta A(y,z) \approx idem$. Потери за оборот по объемам шин Ω

$$A_1^{\vartheta,хол} = \iint_{\Omega} \Delta A(y,z)\, d\Omega \sim \Omega, \quad P_f^{\vartheta,хол} \approx \frac{A_1^{\vartheta,хол}}{\pi D} \sim \frac{\Omega}{D} \sim \frac{DB\delta}{D} \sim B\delta,$$

т.е. у шин одинаковы

$$K_f^{\vartheta,хол} = \frac{A_1^{\vartheta,хол}}{\Omega} \approx idem, \quad K_f^{\vartheta,хол} = \frac{P_f^{\vartheta,хол}}{B\delta} \approx idem. \quad (5)$$

Выражения K_f и K_f являются критериями АПШ. Из размерность - $[FL^{-2}]$. Отношение $P_f^{хол}/P_f^{уст}$ сохраняется при одинаковых температурах.

$$\vartheta_{max}^{уст} \approx \frac{P_f^{хол}(V_0)}{P_f^{хол}(50\frac{км}{ч})}\left(M_1'\frac{B^{0,4}\delta}{D}V_0^{0,4} + M_2'\frac{\delta^2}{D}V_0\right) \approx M_0'\frac{\sqrt{B}\,\delta}{D}\sqrt{V_0} + M_2'\frac{\delta^2}{D}V_0.$$

2. Для расчета установившейся среднеобъемной температуры беговой дорожки $\overline{\vartheta}_{бд}^{уст}$ считаем в выражении:

$$P_f\left(\overline{\vartheta}_{бд}^{(уст)}\right) = P_f^{хол}(V)\left(1 - \overline{\alpha}_{бд}\,\overline{\vartheta}^{(уст)}\right) \quad (6)$$

известными для данной шины и данного установившегося режима качения величины $P_f^{хол}$ и $\overline{\alpha}_{бд}$. Для усреднения интегрированием температуры по толщине использовано выражение (2), а по дуге сечения-типичное распределение из экспериментов, аппроксимированное трапециодальным. При этих условиях

$$\overline{\vartheta}_{бд}^{уст}(D,B,\delta,V_0) = \frac{1}{\frac{1}{\left(\frac{B^{0,4}\delta}{C V_0^{0,6}} + K'\frac{\delta^2}{\lambda_ш}\right)\frac{A}{D}K_f^{хол}(V_0)V_0} + \overline{\alpha}_{бд}}, \quad (7)$$

где коэффициенты C (равный скобке в формуле (I)) и $K' = \frac{K_{нд}\chi_A}{2\pi}\left(\frac{1}{\delta}\frac{1}{3}\right)$ при расчетах целесообразно рассматривать как эмпирические.

3. Для приближенного расчета неустановившихся тепловых процессов

в шине использовано уточненное дифференциальное уравнение теплового состояния:

$$A P_f(v(\tau),\bar{\vartheta})\, v(\tau)\, d\tau = C\vartheta_\infty d\tau + c_ш \rho_ш \Omega_ш d\bar{\vartheta},$$

в котором, по сравнению с уравнением В.И. Сороко-Новицкого: I) учтено, что средние температуры в разных членах - различные, 2) введена зависимость $P_f(\vartheta)$, 3) расшифрованы все коэффициенты из предыдущего. В частности, принимая допущения о постоянстве в процессе прогрева величин $\bar{\alpha}_{бд}$ в формуле (6) для $P_f(\bar{\vartheta}_{бд}(\tau))$ и $\mu_1 = \frac{\bar{\vartheta}_{бд}(\tau)}{\bar{\vartheta}(\tau)}$ (для $\bar{\alpha}_{бд}$ приводится экспериментальное подтверждение), уравнение можно свести к линейному, и тогда

$$\bar{\vartheta}(\tau) = \left[\bar{\vartheta}(0) + \int_0^\tau B(v(\tau)) e^{\int_0^\tau A(v(\tau))d\tau}\, d\tau\right] e^{-\int_0^\tau A(v(\tau))d\tau}.$$

При $V = V_0 = Const$ решения имеют вид экспонент (Рис.5). В частности, при $\bar{\vartheta}(0) = 0$:

$$\bar{\vartheta}(\tau) = \frac{B(V_0)}{A(V_0)}\left(1 - e^{-A(V_0)\tau}\right).$$

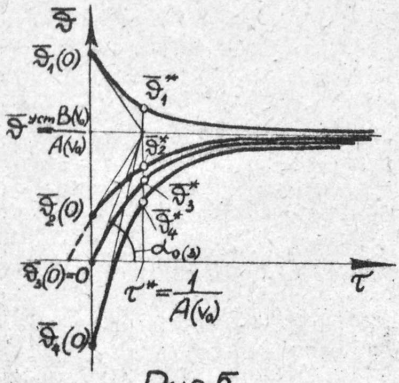


Рис.5.

Так как $\tau^{уст} = \infty$, вместо него удобно пользоваться величиной характерного времени прогрева τ^*, при котором $\bar{\vartheta}^*_{(бд)} = 0{,}63\,\bar{\vartheta}^{уст}_{(бд)}$ (аналогия понятию постоянной времени датчика или прибора). $\tau^* = \frac{1}{A(V_0)}$ и, так же как и $\bar{\vartheta}^{уст} = \frac{B(V_0)}{A(V_0)}$, не зависит от начальной температуры $\bar{\vartheta}(0)$, что удобно при определении его из эксперимента.

Расшифровывая значения коэффициентов $A(V_0)$ и $B(V_0)$, получим:

$$\tau^{*-1} = A(V_0) = \frac{K_{ш}}{K_c \mu_s}\left[\frac{1}{\frac{B^{0,4}\delta}{C V_0^{0,6}} + K'\frac{\delta^2}{\lambda_ш}} + \bar{\alpha}_{бд}\frac{A}{D} K_f^{кон}(V_0) V_0\right], \quad (8)$$

$$\frac{\bar{\vartheta}^{уст}}{\tau^*} = \frac{\bar{\vartheta}^*}{0{,}63\tau^*} = tg\alpha_0 = B(V_0) = \frac{A K_{ш} K_f^{кон}(V_0) V_0}{K_c D} = M_\tau \frac{V_0}{D}, \quad (9)$$

где $K_{\Omega}=\frac{\pi DB\delta}{\delta\Omega}$, $K_c=\pi C_{ш}\rho_{ш}$. $\overline{\vartheta}^{уст}=\frac{B(V_0)}{A(V_0)}$ совпадает с формулой (7).

Основным слагаемым в формулах (7) и (8) является слагаемое $K\frac{\delta^2}{\lambda_{ш}}$, связанное с приростом температуры по глубине массива. Удельный вес $\overline{a}_{\delta\vartheta}$ довольно стабилен. Все коэффициенты в (7), (8), (9) (кроме $\overline{a}_{\delta\vartheta}$) примерно одинаковы для аффинно-подобных шин. Для них характерная интенсивность прогрева (9) пропорциональна $\frac{K_f^{хол}(V_0)V_0}{D}$, а при одинаковых относительных прогибах - угловой скорости $\omega\sim\frac{V_0}{D}$.

Раздел Ш. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Для стандартных шин размеров 165-330, 170-380 (легковых) и 220-508, 240-508, 260-508, 320-508 (грузовых) на барабанном стенде измерялись зависимости трех величин: температуры в брекере по углу (ϑ) и по центру ($\vartheta_{ц}$), силы сопротивления качению и рабочего внутреннего давления от времени качения на различных режимах. Значения этих величин при установившемся режиме и времени прогрева представлены в зависимости от параметров режима и размеров шины. Все грузовые шины имели практически одинаковый универсальный рисунок протектора (по 4 шашки в диагонали).

Температура измерялась игольчатой термопарой. Погрешности сводились к минимуму специальной обработкой результатов. Температура воздуха в камере определялась по формуле:

$$\vartheta^{км}=\frac{p-p^{нач}}{p^{нач}+1}(t_в+273)$$

Результаты экспериментов удовлетворительно согласуются с выводами аналитического исследования. Так, характер зависимостей средней температуры $\vartheta_{ср}^{уст}=0{,}5(\vartheta^{уст}+\vartheta_{ц}^{уст})$ ($\vartheta^{уст}$ - по углу, $\vartheta_{ц}^{уст}$ - по центру) от $p^{нач}$ (пологой) и от G ($\sim G$) - такой же, как для $P_f^{уст}$. Это, как и характер нелинейной зависимости $\vartheta_{ср}^{уст}(V_0)$, приближающейся к линейной при 80-80 км/ч для грузовых шин и 40-100 км/ч для легковых, хорошо объясняется с помощью двучленного выражения (4).

Так как $P_f^{уст}=P_f^{хол}(1-\Delta P_f/P_f^{хол})$, где вычитаемое в скобке растет с температурой, то (Рис.6) зависимости $P_f^{уст}(p^{нач})$ и $P_f^{уст}(G)$ проходят ниже $P_f^{хол}$, а $P_f^{уст}(V_0)$ имеет минимум. Величина ΔP_f составила (0,2÷0,5) $P_f^{хол}$. Характер зависимостей $\vartheta^{км}$ от параметров режима - такой же, как $\vartheta_{ср}^{уст}$.

Расчет средней температуры $\overline{\vartheta}_{ср}^{уст}$, осредненной по окружности и приведенной к $0{,}98\vartheta_{max}$ по Σ, и времени τ^* выполнялся

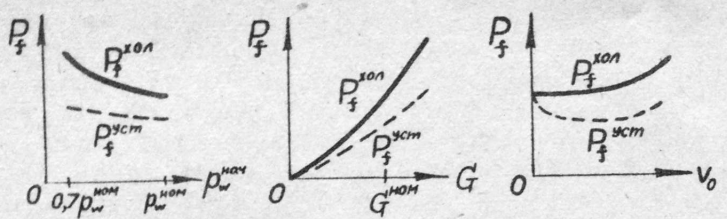


Рис. 6.

по формулам (7) и (8), в которых коэффициент C = 0,0304 ккал/м^{2,2} × сек^{0,4} град был найден по формуле (I) и данным И.И.Гальченко для шины 260-20, а K' =0,0246 – определен для каждой из испытуемых шин при $p^{ном}$, $G^{ном}$ и 50 км/ч и затем взято среднее арифметическое значение. С этими значениями C и K' произведен расчет как температуры, так и времени для всего ряда шин на всех расчетных режимах (Рис.7,8). При $p^{ном}$, $G^{ном}$ и 50 км/ч максимальное значение относительной ошибки для температуры $\vartheta_{ср}^{уст}$ составило 27%, среднеквадратической – 6%, а для времени – соответственно – 58% и I3%.

Совпадение расчетов с экспериментом может быть значительно улучшено, если расчет проводится конструктором в пределах одного типа шин и, например, выясняется изменение $\vartheta_{ср}^{уст}$ при изменении одного или двух исходных параметров в относительно небольших пределах. Анализ же выполнения АПШ для ряда испытуемых шин показал, что, хотя показатели $\frac{B}{H}$, $\frac{D}{H}$, угол корда, $\lambda_ш$, $c_ш \rho_ш$, у них близки, но по значениям $\frac{\delta}{H}$, η, типу рисунка, $p^{ном}$ и $h^{ном}/H$ их предпочтительнее отнести к двум различным типам: легковые и грузовые. Одинаковость критериев $\frac{A_1^{хол}}{\Omega^2}$ ((5), Рис.9) и $\frac{\vartheta_{ср}^{уст} D \lambda_ш}{\delta^2}$ для грузовых шин при $p^{ном}$, V_0=50км/ч и $G=G^{ном}$ или $\frac{h^{хол}}{H}$=idem выполняется с точностью ± 8% и лучше – при $\frac{h^{хол}}{H}$=idem, в то время, как для всего ряда – лучше при $G=G^{ном}$ $(h=h^{ном})$. Последнее может быть объяснено тем, что меньшие потери от сжатия протектора у легковых шин за счет низкого давления в них компенсируются при $G^{ном}$ увеличением потерь за счет увеличенного относительного прогиба этих шин.

При $p^{ном}$, $G^{ном}$ и V_{max} разброс температуры по углу (т.е. и максимальной), осредненной по окружности, составил I,6 (для грузовых шин–I,3) раза. Т.е. значения максимально допустимых скоростей испытуемых шин далеки от условия одинаковости температур. Заметим, что любые расчетные значения P_f, ϑ и τ^* следует рассмат-

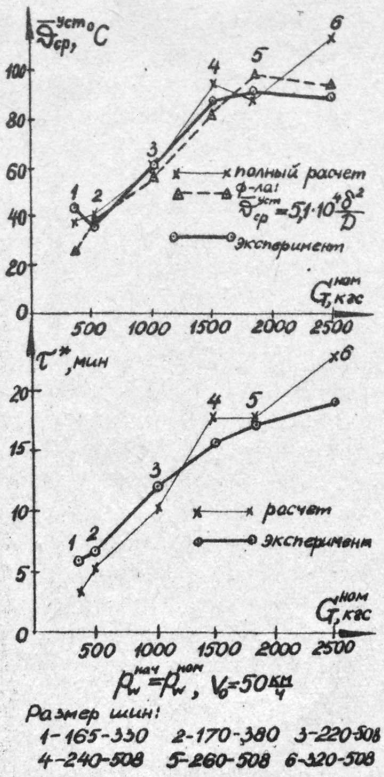


Рис.7.

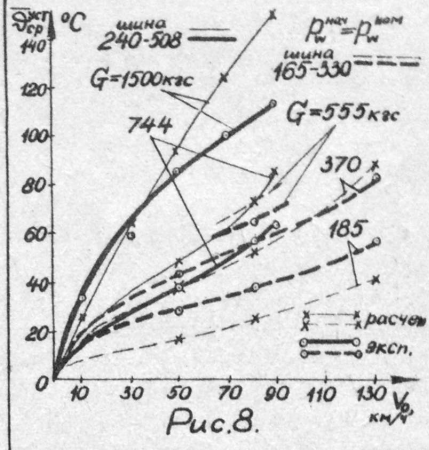


Рис.8.

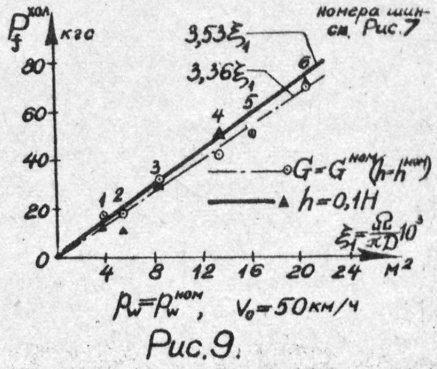


Рис.9.

ривать лишь как наиболее вероятные для данной шины и условий работы.

Кроме того, решались некоторые частные вопросы об оценке составляющих падения сопротивления качению при нагреве, доли теплового потока в барабан и др.

В конце работы даны рекомендации по инженерной методике расчета теплового состояния с использованием зависимостей, полученных в работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

I. Результаты проведенного в работе теоретического исследования углубляют физические представления о тепловых процессах, происходящих при работе шины, а полученные на его базе простые зависимости температуры и времени прогрева от основных конструктивных и эксплуатационных параметров и сопротивления качению от размеров позволяют с достаточной точностью рассчитывать названные характеристики шин обычного типа с неметаллическим кордом при их конструировании, подборе к автомобилю, назначении режимов эксплуатации, а также при разработке методик испытаний шин. Они подтверждаются экспериментом автора и позволяют объяснить результаты экспериментов других исследователей.

2. Для снижения максимальной рабочей температуры шин необходимо: I) применять материалы с низкими гистерезисными потерями при температурах прогретой шины; 2) снижать общую толщину беговой дорожки; 3) выравнивать распределение деформаций (т.е. и потерь), в поперечном направлении беговой дорожки; 4) улучшать однородность шин и надежность связи резины с кордом; 5) увеличивать среднюю теплопроводность шинных материалов; 6) улучшать теплоотвод через воздух камеры к ободу и от него - наружу; 7) для легковых шин эффективно улучшать условия теплоотвода протектора; 8) для крупногабаритных шин - ограничивать среднюю скорость движения с целью одновременного снижения максимальной температуры и увеличения времени прогрева, а также увеличивать среднюю теплоемкость для увеличения времени.

3. Основная часть тепла от нагревшейся шины рассеивается в окружающий воздух. Величина теплового потока от беговой дорожки в опорную поверхность на стенде может достигать примерно до 20% от величины потока в воздух. Коэффициент теплоотдачи и тепловой поток внутрь камеры в несколько раз ниже, чем в окружающую среду.

4. В тонком пограничном слое беговой дорожки происходит резкое изменение температуры за счет чередования взаимодействия шины с опорой и воздухом на протяжении одного оборота колеса. Глубина пограничного слоя составляет несколько десятых долей миллиметра.

Распределение температур по глубине основного массива в течение оборота практически стационарно и для шин с неметаллическим кордом имеет характер, близкий к параболическому. Оно зависит от режима качения и распределения источников тепла.

5. Сила сопротивления качению шин, подобных друг другу и подобно нагруженных, при одинаковом тепловом состоянии пропорциональна квадрату размера. Для шин, удовлетворяющих условиям аффинного подобия в широком смысле слова, она примерно пропорциональна произведению ширины профиля B на толщину δ, а потери за оборот пропорциональны весу шины.

6. С увеличением скорости движения установившаяся температура шины возрастает интенсивно по нелинейной зависимости, которая приближается к линейной в диапазоне основных эксплуатационных скоростей (примерно 30-80 км/ч для грузовых шин и 40-100 км/ч - для легковых). Время прогрева с ростом скорости убывает.

Вместе с тем, установившаяся температура и время прогрева шины интенсивно возрастают с увеличением размеров. Ориентировочно, избыточная температура и время прогрева пропорциональны характерному размеру для подобных шин или отношению квадрата толщины δ^2 к наружному диаметру D и к средней теплопроводности λ_m для аффинно-подобных шин при одинаковых скоростях. Для сохранения величины установившейся температуры необходимо изменять скорость качения обратно пропорционально размеру шины. Моделировать тепловое состояние шин обычных размеров нецелесообразно.

7. От 50 до 80% уменьшения силы сопротивления качению испытуемых шин при прогреве происходит за счет уменьшения гистерезисных потерь, остальное - в результате повышения рабочего внутреннего давления. Сила сопротивления качению шины при установившемся тепловом состоянии мало зависит от начального давления (в диапазоне от 0,7 $p^{ном}$ до $p^{ном}$) и от скорости (в диапазоне средних эксплуатационных значений скоростей). Эта сила и средняя избыточная температура беговой дорожки примерно пропорциональны нагрузке.

Отношение температур по углу и по центру определяется сочетанием относительного прогиба и внутреннего давления.

8. Характер зависимости установившейся температуры воздуха в камере от параметров режима аналогичен характеру зависимости от них температуры покрышки. Температура в камере составляет около 70-100% от средней температуры брекера и 65-85% от его максимальной температуры (все - избыточные). Пропорциональный температуре прирост рабочего внутреннего давления (на стенде, при номинальных значениях давления и нагрузки и при скорости 50 км/ч для грузовых шин и 80 км/ч для легковых) составил до 27% от абсолютного начального давления.

9. Зависимость средней температуры шины от времени качения

с постоянной скоростью близка к экспоненциальной. Сравнительную оценку теплового состояния целесообразно производить с помощью величин установившейся избыточной температуры брекера или максимальной по глубине покрышки: по углу ($\vartheta^{уст}$), по центру ($\vartheta_ц^{уст}$) а также средней ($\vartheta_{ср}^{уст} = \frac{1}{2}(\vartheta^{уст} + \vartheta_ц^{уст})$) и характерного времени прогрева τ^* , при котором температура достигает значения $\vartheta_{ср}^{*} = 0{,}63\,\vartheta_{ср}^{уст}$. При оценочных испытаниях время прогрева шин можно существенно сократить, если использовать простые вспомогательные расчеты.

Дальнейшие координированные исследования по комплексу вопросов теплового состояния шин, в частности, накопление некоторых специальных экспериментальных данных и данных по отдельным типам шин, представляются необходимыми для создания единой методики его оценки и учета при проектировании и в исследовательской работе.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

I. В.Е.Качугин, Об условиях подобия при моделировании качения автомобильной шины по твердой поверхности, Реф.научн.-техн. сб. НИИНавтопром, "Автомобилестроение", I967, № 22,стр.20-22.

2. В.Е.Качугин, В.И.Кнороз, Аналитическое исследование теплового состояния автомобильной шины при установившемся режиме качения, Труды НАМИ, вып.I20, ОНТИ,М,I970, стр.II3-I3I.

3. В.Е.Качугин, Аналитическое исследование теплового состояния катящейся автомобильной шины, в сб."Температурные режимы шин в процессе их производства и эксплуатации". Материалы к научно-техническому семинару, Красноярск, I970, стр.3I0-320.

4. В.Е.Качугин, Ю.Н.Моругов, Влияние параметров режима качения на установившуюся температуру шины, Автомобильная промышленность, I974, № I2.