

А.А.ЛАРИН, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»;
И.М.БАРАННИК, ассистент, ХНАДУ, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН В ПРОЦЕССЕ СТАЦИОНАРНОГО КАЧЕНИЯ

У роботі запропоновано алгоритм для визначення процесу встановлення теплового стану в пневматичних шинах. Алгоритмом є розрахунково-експериментальний підхід, який заснований на чисельному розв'язанні задачі нестационарної теплопровідності в рамках методу скінченних елементів і використовує для визначення величини теплоутворення за один оборот колеса експериментальні дані про час і величину нагріву повітря усередині шини. Представлено результати чисельних і експериментальних досліджень з формування теплового стану в пневматичній шині для легкового автомобіля моделі 175/70R13.

The paper deals with the development of an algorithm of the determination of the process of thermal state stabilization in the pneumatic tires. The algorithm is a computationally-experimental. It is realized on the base of numerical solution of transient thermal analysis within the finite element method and uses an experimental data about the time and magnitude of inside the tire air heating for the determination of the rate of heat generation over one cycle of wheel rotation. The results of numerical and experimental investigations has been carried out about the formation of the thermal state of the pneumatic tire model 175/70R13 for passenger car.

В работе предложено алгоритм для определения процесса установления теплового состояния в пневматических шинах. Алгоритм представляет собой расчетно-экспериментальный подход, который основан на численном решении задачи нестационарной теплопроводности в рамках метода конечных элементов и использует для определения величины теплообразования за один оборот колеса экспериментальные данные о времени и величине нагрева воздуха внутри шины. Представлено результаты численных и экспериментальных исследований по формированию теплового состояния в пневматической шине для легкового автомобиля модели 175/70R13.

Введение. Важной характеристикой пневматических шин в эксплуатации является их температура. Тепловое состояние шины в эксплуатации оказывает существенное влияние на ее работоспособность, так как влияет на механические свойства резиноподобных материалов, их прочностные характеристики, создает дополнительное термонапряженно-деформированное состояние, приводит к изменению внутреннего давления, формирует процессы деградации материала (старение). Так, при увеличении температуры шины до 100 °С прочность капронового корда снижается на 20 %, а прочность резины и связь ее с кордом уменьшается в 2 раза [3].

Нагрев автомобильной шины формируется в результате преобразования в тепло части механической энергии при переменном деформировании полимерных материалов конструкции, и трении о дорожное полотно. Исследования температурного состояния шин изучают экспериментально и теоретически. Экспериментально определяют температуру воздуха (газа) внутри

шины и температуру на поверхности шины, или измеряют ее внутри слоев и между слоями.

Следует отметить, что измерение температуры воздуха внутри шины является наиболее легко реализуемым измерением, допускающим проведение не только лабораторных испытаний, но и дорожных, которые максимально приближены к условиям реальной эксплуатации. Однако, температура воздуха внутри шины является производным эффектом и лишь интегрально позволяет судить о температурном поле в самом теле. Изменение температуры воздуха внутри шины, определяет изменение давления, уровень теплообразования и общее тепловое состояние, что может служить только, как интегральная оценка ее технического состояния.

Исследование поверхностной температуры представляет большой интерес, так как, может применяться с целью дефектоскопии [1-3]. Действительно наличие внутренних скрытых дефектов приводят локальному всплеску температуры [3]. Вместе с тем, измерение поверхностного температурного поля на вращающейся шине крайне затруднено, а при дорожных испытаниях практически не реализуемо.

Измерение температуры внутри слоев и между слоями шины, является сложным экспериментальным исследованием, для реализации которого необходимо впаивать датчики температуры в шину еще на этапе ее производства и проводить исследования на соответствующих лабораторных образцах. При этом удастся определить температуру только в некоторых дискретных точках, а полученные значения являются несколько искаженными, так как в конструкцию лабораторного образца вносятся дополнительные элементы (датчики), которые локально, вносят структурные изменения.

Таким образом, экспериментальные методы дают или очень локальную информацию или очень интегральную оценку, а поэтому не позволяют построить полноценной картины по формированию температурного поля в шине, которое позволило бы доопределить упругие и диссипативные свойства материалов применяемых в шине, установить ее прочностные характеристики.

В данной работе предлагается теоретический подход, в рамках которого строится семейство возможных решений по установлению теплового состояния в шине. Затем в качестве истинного выбирается, то состояние, теплогенерация в котором обеспечивает необходимый уровень и скорость установления температуры воздуха в пневматической шине, предварительно полученные из эксперимента.

Экспериментальное исследование теплообразанию воздуха в пневматической шины. Натурные измерения проводились в дорожных условиях. В качестве измеряемого параметра выступала температура воздуха в камере шины. Соответствующие измерения проводились с помощью датчиков температуры и давления закрепленных на диске колеса рис. 1. Использо-

вались датчики промышленного производства TPMS OE Sensor (Tire Pressure Monitoring System be the Orange Electronics Sensor) модель P409S [4]. Информация с датчика передается в режиме реального времени по средствам беспроводной связи рис. 2. Датчик обладает малой массой, что позволяет провести классическую процедуру балансировки колес автомобиля после установки измерительной системы.



Рисунок 1 – Установка датчика для мониторинга температуры в шинах

Характеристики измерительной системы:

- вес датчика 35 г;
- рабочий диапазон давлений от 0 до 531 кПа (до 5,3 атм.);
- рабочий диапазон температур от -40°C до 120 °С;
- погрешность измерения давления: $\pm 6,9$ кПа ($\pm 0,07$ атм.);
- погрешность измерения температуры: ± 4 °С.



Рисунок 2 – Тестовый замер температуры в собранных шинах

Данная измерительная система не обладает высокой точностью, так как является фактически «бытовой» системой контроля давления и температуры в шинах легкового автомобиля, вместе с тем позволяет получить важные качественные закономерности, а результаты по серии замеров рассматривать как усредненные.

Экспериментальные исследования установления температурного режима в воздухе внутри шины проводились на современных бескамерных шинах модели 175/70R13, которые были установлены на легковом автомобиле АвтоЗАЗ Sens в технически исправном состоянии. Измерение проводилось сразу в 4 шинах, в которых давление было установлено на рекомендуемом для эксплуатации уровне 2 атм. В момент проведения дорожных испытаний температура окружающей среды составляла 9 °С, влажность была повышенной – 85 %, скорость ветра до 3 м/с.

Заезд осуществлялся на трассе общего назначения, имеющей две полосы движения в каждом из направлений разграниченных островком безопасности. Таким образом, испытания проводились, не создавая помех движению другому транспорту, но при этом в естественных условиях и с возможностью поддержки стабильного скоростного режима.

Измерение начиналось после длительной остановки автомобиля на обочине дороги с целью установки в шинах температуры соответствующей температуре окружающей среды. Затем автомобиль в течение минуты был выведен на скорость 60 км/час и данная скорость (± 3 км/час) поддерживалась водителем до установления стабильного температурного режима воздуха в шинах.

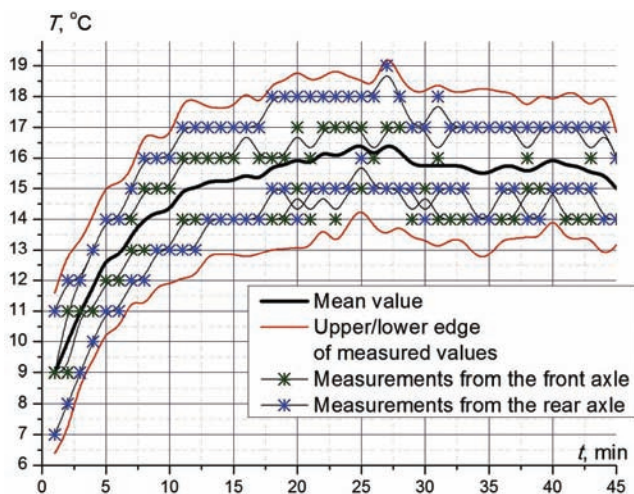


Рисунок 3 – Результаты измерения температуры воздуха внутри пневматической шины модели 175/70R13 при дорожных испытаниях с постоянной скоростью движения автомобиля 60 ± 3 км/час

На рис. 3 приведены результаты данных испытаний и их статистическая обработка (жирная линия является средним значением по четырем измерениям). Анализ приведенных данных показывает, что стабилизация температурного состояния воздуха в пневматических шинах данной модели наступает через 25-27 минут от начала движения, и прирост температуры в среднем составляет +6 °С. Доверительный интервал с вероятностью 95 % составляет ± 2 °С. Важно отметить, что прирост температуры в +6 °С был получен по замерам на каждом из колес, и практически не имел вариации. Те есть разница между замерами на соседних колесах в ± 2 °С наблюдалась с начала испытаний и фактически поддерживалась в течении всего времени. Следует также отметить, что нет существенной разницы между установлением температурного баланса для колес ведущих (передний мост) или колес ведомых (задний мост).

Проведенные экспериментальные измерения позволяют оценить величину прироста внутреннего давления в шинах, которое устанавливается в процессе эксплуатации. Кроме того, используя полученные результаты в данной работе предлагается построить алгоритм по определению процесса установления теплового состояния в шине.

Построение алгоритма вычисления формирования установившегося температурного поля в пневматической шине. Нагрев шины во время работы (качении) происходит в результате диссипации энергии в материалах испытывающих переменное деформирование, а также за счет трения в пятне контакта. При стационарном качении колеса (на постоянной скорости) выделения тепла при трении много меньше, чем теплообразование, возникающие в процессе деформирования вязкоупругих компонент шины, так как при этом виде движения проскальзывание в контакте с дорогой очень малы, и поэтому их влиянием в данной работе пренебрегается. Накапливаемое в шине тепло идет на нагрев шины и воздуха внутри шины, а также на рассеивание в окружающую среду и дорогу. В нормальных условиях работы колеса основная часть тепла отводится от шины конвекцией в воздух и лишь около 10 % в дорожное покрытие [5,6].

Для анализа процесса теплообразования рассмотрим профильное сечение. В процессе движения такое сечение при входе в контакт получает деформацию сжатия, которая снимается после выхода из контакта – на этом промежутке времени происходит импульс теплообразования для данного сечения, которое затем имеет время свободного теплового состояния до следующего момента времени входа в контакт. Каждое соседнее сечение испытывает аналогичный нестационарный тепловой процесс при стационарном качении колеса, поэтому в данной работе рассматривается модель шины, представляющая собой профильное сечение. Моделирование деформации шины и решение задачи теплопроводности проводилось в рамках метода конечных элементов (КЭ). Соответствующая модель приведена на рис. 4.

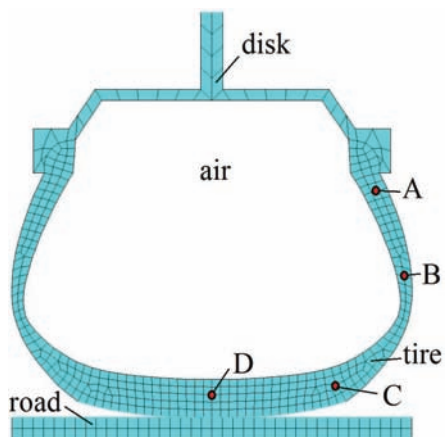


Рисунок 4 – КЭ модель профильного сечения пневматической шины

В данной работе предлагается следующий алгоритм для определения процесса формирования теплового состояния в пневматической шине:

- определить поле амплитуд деформаций пневматической шине, совершающей стационарное качение;
- поставить амплитуде деформации в соответствие величину теплообразования за один цикл перемены деформации;
- задать цикл по теплообразованию за один оборот колеса: за время одного оборота происходит импульс теплообразования, а затем существует некоторое время свободного теплообмена и теплораспределения по слоям шины и с внешним и внутренним воздухом;
- задать граничные условия конвективного теплообмена с воздухом окружающей среды;
- задать граничные условия конвективного теплообмена внутри шины (воздух внутри шины имеет ограниченную связь с окружающей средой (только через диск) и поэтому нагревается следом за нагревом шины, таким образом, данные граничные условия следует обновлять в процессе расчета);
- произвести расчет задачи нестационарной теплопроводности на промежутке времени характерном для изменения температуры воздуха внутри шины;
- определить количество тепла выделившегося с внутренней поверхности шины и направленного на нагрев воздуха внутри шины;
- определит температуру воздуха в шине;
- повторять пункты 4-8 до тех пор, пока не произойдет стабилизация теплового состояния (или до заданного момента времени).

На рис. 5 данный алгоритм приведен в виде диаграммы потоков данных в нотации Гейна-Сарсона (особенности нотации см. в [7]).

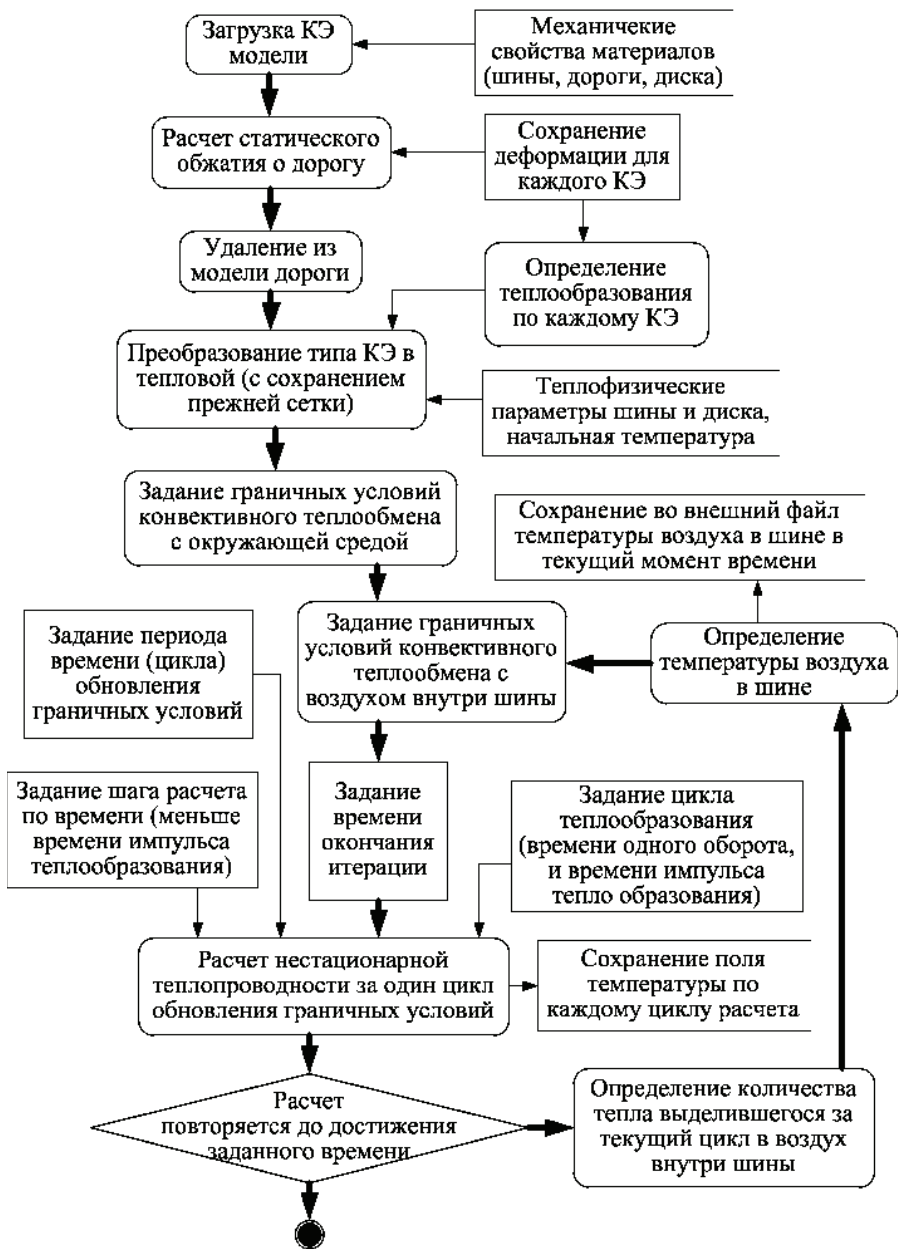


Рисунок 5 – Алгоритм определение теплового состояния в шине

В соответствии с предложенным алгоритмом на первом этапе следует

определить амплитуду деформации шины при ее стационарном качении. В данной работе предполагается, что она будет близкой к деформации, которая реализуется при статическом обжатии шины о дорожное полотно. Соответствующая задача упругого контакта была решена в рамках метода КЭ – результаты расчета приведены на рис. 6. В расчетах шина, диск и дорога рассматривались как разные тела со своими механическими свойствами, при этом шина считалась состоящей из однородного изотропного материала с усредненными свойствами.

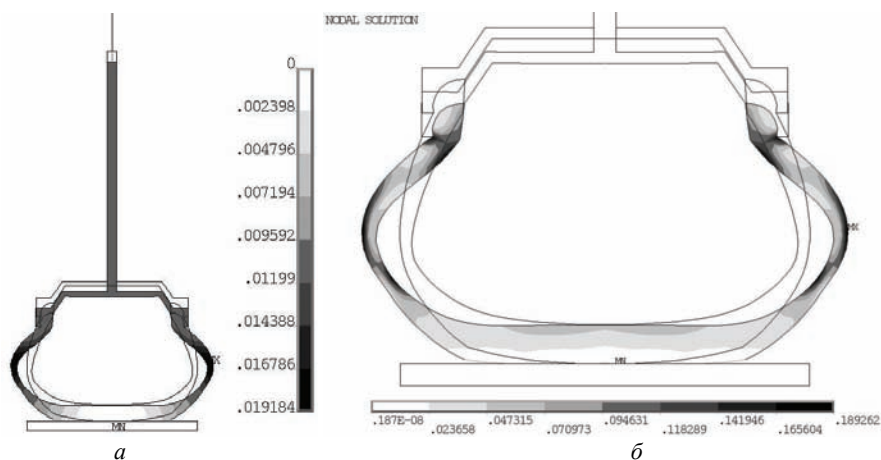


Рисунок 6 – Поля перемещений (а) и интенсивности деформаций (б) в шине, находящейся в контакте с дорогой

Далее по алгоритму, амплитуде деформации ставится в соответствие величина теплообразования за один цикл (оборот колеса). Физически при переменной деформации выделяется тепло за счет диссипации энергии деформирования в материале. Такая диссипация представляет собой гистерезисные потери. Наиболее простой, но широко используемой моделью петли гистерезиса является модель Сорокина [8]. Выделенное тепло при одном цикле деформации равно площади петли гистерезиса, которая в соответствии с моделью Сорокина является эллипсом и пропорциональна квадрату амплитуды деформации:

$$Q \sim \varepsilon^2 \Rightarrow Q = Q_0 \cdot \varepsilon^2, \quad (1)$$

где ε – амплитуда переменной деформации (в данной работе в качестве этой величины использовалось эквивалентная по теории Мизеса деформация, полученная при решении статической задачи контакта шины с дорогой); Q_0 – коэффициент пропорциональности. Величина Q_0 имеет сложную природу и априорно не может быть определена в рамках данного подхода к рассмотрению задачи. Действительно теплогенерация осуществляется в результате потери на рассеивание энергии в резиноподобных материалах, однако в равной

степени и за счет внутреннего трения между различными компонентами сложной композитной структуры шины (микро-трение между разнородными слоями, между матрицей и волокнами армированных частей композита). В данной работе материал шины считается однородным с усредненными свойствами и под величиной Q_0 также понимается некоторое усредненное значение, определение которой позволит интегрально охарактеризовать диссипативные свойства шины. Выявление величины Q_0 осуществляется путем вариативных расчетов: т.е. проводится серия расчетов с разными значениями Q_0 , а затем выбирается, то решение, в котором обеспечивает необходимый уровень и скорость установления температуры воздуха в пневматической шине, предварительно полученные из эксперимента (рис. 3).

Приведенные результаты на рис. 6 показывают наличие неоднородности распределения деформации. В области бортовой зоны и боковины наблюдаются наибольшие значения, таким образом, в этих местах будет наблюдаться наибольшее теплообразование.

Как уже отмечалось ранее, сечение шины в процессе стационарного качения находится под действием циклического теплового нагружения. Данный цикл состоит из импульса теплообразования, который возникает, когда сечение проходит зону контакта, и промежутков свободного теплового состояния до следующего момента времени входа в контакт (рис. 7).

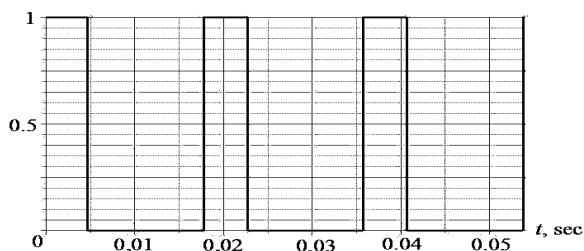


Рисунок 7 – Циклы теплообразования

Время одного цикла определяется в соответствии со скоростью качения колеса – время одного оборота, а время импульса, определяется временем прохождения зоны контакта, то есть также зависит от скорости и длины пятна контакта. В данной работе рассматривалось движение со скоростью 60 км/час – 0,018 с время одного цикла. Длина контакта была выбрана равной примерно $\frac{1}{4}$ длины дуги окружности колеса, в соответствии с результатами, полученными ранее при решении задачи контакта шины с дорогой в трехмерной постановке [9]. Таким образом, длительность импульса теплообразования задавалась равной 0,0045 с.

Следующим этапом алгоритма является задание условий конвективного теплообмена колеса с воздухом. При этом целесообразно отдельно рассматривать теплоотдачу внутри шины и снаружи. Условия конвективного тепло-

обмена задаются коэффициентом конвекции α (теплоотдачи) и температурой воздуха T_{air}

$$q_n = \alpha \cdot (T - T_{air}), \quad (2)$$

где q_n – плотность теплового потока на нормали к поверхности конвекции, T – температура на поверхности колеса. Коэффициент конвекции определяется теплофизическими свойствами (теплопроводностью, плотностью и вязкостью) и выражается через число Нуссельта, Nu [10-11]

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_e}, \quad (3)$$

где d_e – характерный (эквивалентный) размер тела, которое обтекается потоком; λ – теплопроводность воздуха. Число Нуссельта зависит также и от параметров потока обдуваемого воздуха. Данная зависимость определяется числом Рейнольдса, Re [11-12]

$$Nu = \xi \cdot 0,018 \cdot Re^{0,8}, \quad (4)$$

где ξ – поправка на кривизну канала, для течений в криволинейных трубах или каналах [12-13], определяется соотношением радиусов канала и его внешней кривизны

$$\xi = 1 + 1,8 \cdot \left(\frac{2d_c}{d_{sk}} \right), \quad (5)$$

где d_c – диаметр канала (трубы), d_{sk} – диаметр кривизны (гиба). Число Рейнольдса есть отношение сил инерции к силам вязкости в потоке

$$Re = \frac{v \cdot d_e}{\mu}, \quad (6)$$

где v – скорость потока, d_e – характерный (эквивалентный) размер тела, которое обтекается потоком, μ – кинематическая вязкость воздуха.



Рисунок 8 – Схема потока воздуха вокруг и внутри колеса

Внешнее обтекание колеса происходит потоком, захватываемым движущимся автомобилем в просвет между автомобилем и дорожным покрытием (клиренс), и, закручиваемым вокруг колеса в колесной арке (рис. 8). В первом приближении можно считать, что скорость этого потока v совпадает с линейной скоростью движения автомобиля, а поток движется в торе. В этом

случае в качестве эквивалентного диаметра выступает гидродинамический диаметр кругового канала. Гидродинамический диаметр определяется диаметром описанной окружности аппроксимирующим колесную арку и периметром контура шины, соприкасающегося с потоком,

$$d_e^{inside} = \frac{4A}{P}, \quad (7)$$

где A – площадь сечения канала, P – контур шины обтекаемый воздухом.

Для легкового автомобиля (АвтоЗАЗ Sens) с установленными шинами модели 175/70R13 обтекаемых воздухом и накаченных воздухом были проведены расчеты коэффициентов конвективной теплопроводности по формулам (3)-(7). Результаты вычислений сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры определяющие конвективный теплообмен шины с воздухом

d_e , м	μ , Па·с	Re	ξ	Nu	λ , Вт/(м·К)	α , Вт/(м ² ·К)
Внешний поток, обдувающий шину						
0,2	13,12 10 ⁻⁶	3,1 10 ⁵	1,75	778	0,0278	110
Поток внутри шины						
0,25	13,12 10 ⁻⁶	6,3 10 ⁴	2,54	315	0,0278	35,5

При вычислении величин помещенных в таблицу предполагалось, что поток воздуха вокруг шины является потоком в тороидальном канале, который моделирует колесную арку. Диаметр этого канала (зазор между колесом и колесной аркой) составляет порядка 150 мм, длина контура шины модели 175/70R13, соприкасающейся с этим потоком, составляет 358 мм.

Конвективный теплообмен шины во внутрь также носит принудительный характер, так как воздух внутри шины совершает движение. Поток создается благодаря инерционным и вязкостным характеристикам воздуха – пристеночный слой увлекается в движение вслед за стенками шины и диска, а в последствии, поток распределяется на весь объем воздуха (рис. 8). Следует отметить, что для увеличения скорости движения воздуха внутри шины в современных моделях используется специальное конструктивное оребрение по внутренней поверхности. При вычислении параметров конвективного теплообмена внутри шины учитывались данные полученные в работе [14]: скорость потока воздуха внутри шины в 5 раз меньше чем линейная скорость движения самого колеса ($u = 0,2v$).

Очевидно, что полученные значения по параметрам конвекции является оценочным (приближенным), так как рассматриваемые потоки являются существенно более сложными и неоднородными, по сравнению с тем как это представляется в данной работе.

Важной особенностью данного алгоритма, является учет нагрева воздуха внутри шины. Так как он имеет ограниченную связь с окружающей средой (только через диск), то тепло снятое с внутренней поверхности шины в ре-

зультате конвекции рассеивается в окружающую среду не так интенсивно и происходит нагрев этого воздуха. На первой итерации алгоритма данная особенность не реализуется, так как температура воздуха внутри шины равна температуре окружающей среды. На следующих шагах расчета следует обновлять граничное условие (2) на внутреннем контуре. С этой целью необходимо вычислять приращение температуры воздуха внутри шины.

Рассмотрим соответствующую процедуру более детально. В результате решения задачи теплопроводности шины на заданном шаге на ее внутренней поверхности устанавливается определенная температура отличная от температуры воздуха внутри шины. По средствам конвективного теплообмена между более нагретой поверхностью и воздухом устанавливается тепловой поток, то есть отводится тепло Q_{in}

$$Q_{in} = \alpha_{inside} \cdot L \cdot (T_c - T_{inside}^{air}), \quad (8)$$

где α_{inside} – коэффициент теплоотдачи к потоку внутри шины (см. табл. 1); L – длина внутреннего контура (эквивалентно площади внутренней поверхности для изучаемой плоской модели); T_c – усредненная температура на контуре (на поверхности) полученная на данном шаге расчета; T_{inside}^{air} – температура воздуха внутри шины установленная на данном шаге расчета.

Снятое тепло с внутреннего контура преобразуется в нагрев воздуха

$$\Delta T_{inside}^{air} = \frac{Q_{in}}{c \cdot m}, \quad (9)$$

где ΔT_{inside}^{air} – приращение температуры воздуха внутри шины; c – удельная теплоемкость воздуха (1006 Дж/(кг·град)); m – масса воздуха внутри шины. Тогда на следующем шаге расчета следует увеличить температуру воздуха внутри шины при задании граничного условия (2) на величину определенную из соотношения (9).

Следует отметить, что имеющиеся экспериментальные данные (рис. 3) показывают, что процесс нагрева воздуха в шине проходит заметно медленнее, чем импульс генерации тепла (рис. 7). В этой связи обновление граничных условий на внутреннем контуре можно проводить не на каждом цикле. В данной работе обновление проводилось каждые 20 с.

Расчетные исследование по формированию установившегося температурного поля в пневматической шине. В соответствии с предложенным алгоритмом было проведено серию исследований с варьированием величиной Q_0 . Анализ полученных результатов позволил определить значение выделяемого в шине тепла за один цикл деформации из критерия совпадения расчетных кривых нагрева воздуха в шине и экспериментальных данных (рис. 3) полученных на шине данной модели.

Результаты этих расчетов приведены на рис. 9 - 11. На рис. 9 – соответствие кривой нагрева полученной расчетным путем и экспериментально. Результаты показывают хорошее совпадение, как качественное, так и количественное.

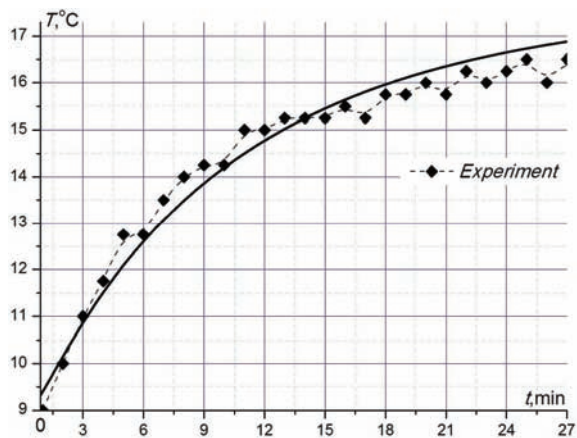


Рисунок 9 – Верификация теоретической модели

На рис. 10 приведены кривые нагрева снятые в разных частях шины. На рисунке 10,а график нагрева в плечевой зоне шины (точка С, см. рис. 4). На рисунке в увеличенном временном масштабе показана пульсация температуры, наблюдаемая в результате действия импульсов теплогенерации на 1-й и 40-й минутах движения. На начальном этапе, когда температура шины равна температуре окружающей среды, теплоотдача является малой и все теплообразование идет на нагрев шины. С увеличением температуры шины усиливается теплоотдача в окружающую среду и со временем наступает тепловой баланс: увеличенная за счет импульса теплогенерации температура в течении цикла практически полностью спадает до предыдущего значения.

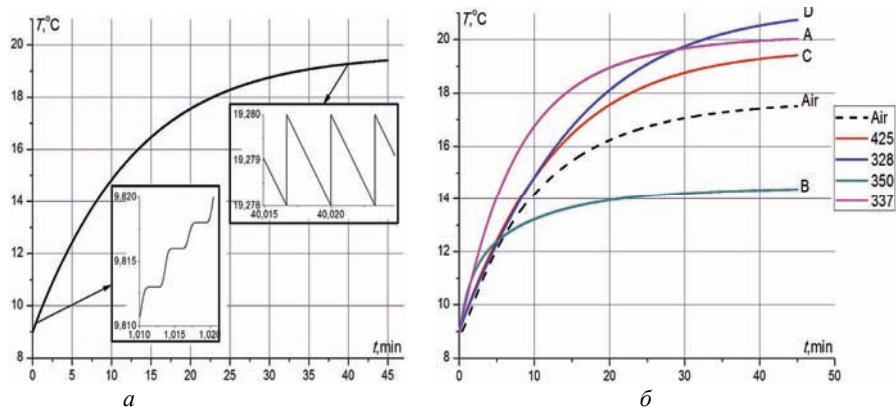


Рис. 10 – Графики нагрева в разных областях шины

На рис. 10, б представлены зависимости температуры от времени в разных точках шины: в бортовой зоне (точка А), в боковине (точка В), в плече-

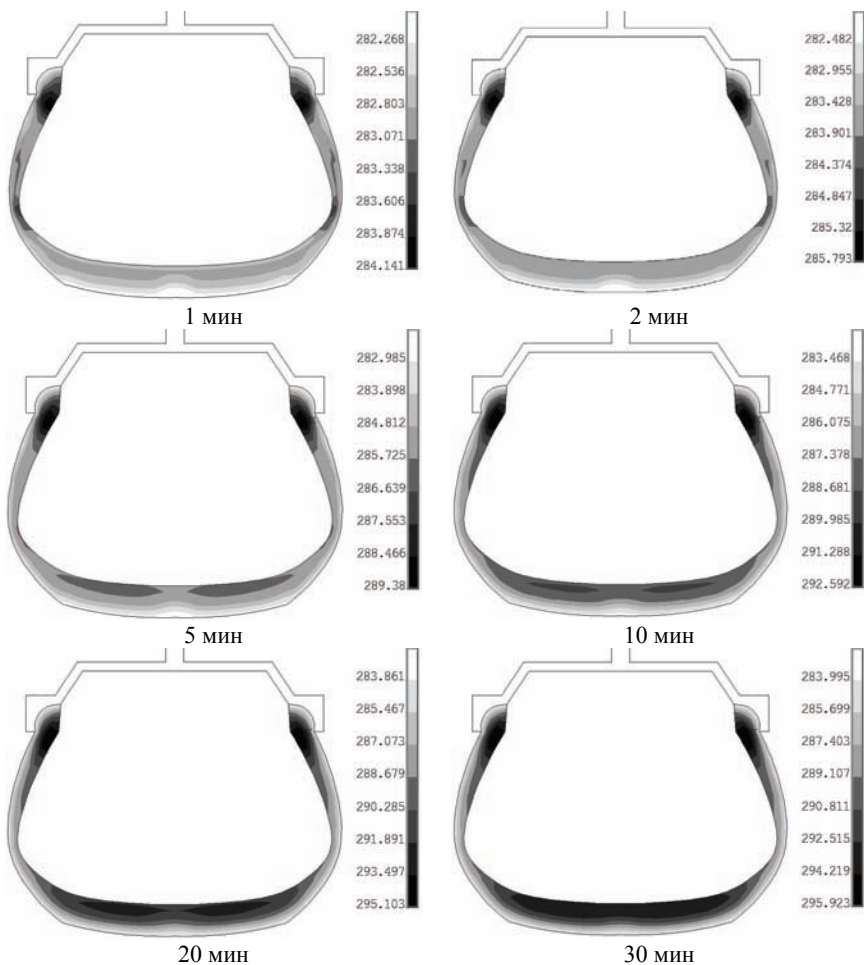


Рисунок 11 – Поля температуры в шине в разные моменты времени

вой зоне (точка С), в центре беговой зоны (точка D) и в воздухе внутри шины (обозначено Air). Из приведенных результатов видно, что в процессе установления температуры происходит изменение поля температуры: так на начальном этапе (первые 5 минут) наиболее интенсивный нагрев и наибольшая температура наблюдаются в бортовой зоне и на боковине (точки В и А), так как в этих зонах наблюдается наибольшая теплогенерация, так как здесь максимальные амплитуды деформации (рис. 6). Однако из-за того, что зона боковины имеет наименьшую толщину, в ней стремительно устанавливается тепловой баланс, а температура имеет наименьшее значение. На 30 минуте аналогичная ситуация наблюдается в бортовой зоне, где соприкосновение с металлическим диском, который обладает высокой теплопроводностью,

обеспечивает также более интенсивное охлаждение чем в остальных элементах шины. На рис. 11 представлены поля температур в шине в разные моменты времени.

Выводы. Таким образом, в данной работе предложено алгоритм для определения процесса установления теплового состояния в пневматических шинах. Алгоритм основан на численных процедурах реализованных в рамках метода конечных элементов и использует для определения величины теплообразования за один оборот колеса экспериментальные данные. Представлено результаты численных и экспериментальных исследований по формированию теплового состояния в пневматической шине для легкового автомобиля модели 1757013. Результаты показали, что процесс температурной стабилизации наступает через 30 мин. Температура воздуха внутри шины увеличилась на +6°C. Температурное поле в самой шине существенно неоднородно и претерпевает перераспределения в процессе нагрева. Максимальная температура на которую выходит шина составила 25°C, что соответствует увеличению на +16°C от исходной температуры окружающей среды в 9°C .

Список литературы: 1. *Ларін О.М.* Теоретичні основи оцінки працездатності шин легкового автомобіля в експлуатації: Дис... докт. техн. наук: 05.22.20. – Харків, 2001. – 312 с. 2. *Коханенко В.Б.* Розробка методів діагностики внутрішніх руйнувань автомобільних шин в умовах експлуатації. Дис... канд. техн. наук. – Харків, 2005. – 216 с. 3. *Дмитриченко М.Ф.* Неруйнівний тепловий контроль автомобільних шин / *М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв, О.Б. Деркачов, Є.Б. Долгов.* – К.: Знання України, Нац. Транспортний університет, 2007. – 151с. 4. Orange electronic TPMS // <http://www.orangetpmsusa.com/> / 20.12.2011. 5. *S.K. Clark* (Chairman of Editorial Board) et al The pneumatic tire // National Highway Traffic Safety Administration. USA Dep. Of Transportation, 2006. – PP. 707. 6. *Кнороз В.И.* Работа автомобильной шины / *В.И. Кнороз.* – М.: Транспорт, 1978. – 238 с. 7. *Иванова Г.С.* Технология программирования / *Г.С. Иванова.* – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2002. – 241 с. 8. *Пановко Я. Г.* Внутреннее трение при колебаниях упругих систем / *Я. Г. Пановко.* – М.: Физматгиз, 1960. – 193 с. 9. *Ларін О.О.* Розробка багатозарової 3D комп'ютерної моделі пневматичної шини з урахуванням ортотропії її механічних властивостей / *Ю.В. Арефін, О.О. Ларін, О.М. Ларін, О.І. Субочев* // Вісник Севастопольського національного технічного університету, Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – № 121. – С. 102-105. 10. *М.А. Михеев* Основы теплопередачи / *Михеев М.А., Михеева И.М.* – М.: Энергия, 1977. – 344 с. 11. *Уонг Х.* Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров / *Х. Уонг.* – М.: Атомиздат, 1979. – 89 с. 12. *Юдаев Б.Н.* Теплопередача / *Б.Н. Юдаев.* – М.: Высшая школа, 1973. – 208 с. 13. *Исаченко В.П.* Теплопередача / *Исаченко В.П., В.А. Осипова, А.С. Сукмел.* – М.: Энергия, 1975. – 219 с. 14. *Качугин В.Е.* Расчет скорости воздуха и конвективной теплоотдачи в камере шины / *В.Е. Качугин* // Каучук и резина. – № 3.– 1982. – С. 32-34.

Поступила в редколлегию 25.10.2011