

А.Н.ЛАРИН, докт.техн.наук; **В.Б.КОХАНЕНКО**, канд.техн.наук,
Академия гражданской обороны, Харьков;
В.И.КОНОХОВ, канд.техн. наук; **С.М.ШКОЛЬНЫЙ**, канд.техн.наук;
НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Вирішення питань стомленої міцності та характеру зруйнування для пневматичних шин є досить складною проблемою по багатьом аспектам. Сучасні системи кінцево-елементного аналізу дозволяють отримати рішення для ряду моментів цієї проблеми.

Decided of problems of fatigue and type of failure for tires there are large complex in connections of many aspects. The contemporary systems of finite element analysis allow to obtained of solutions for the several moments of this total problem.

Решение контактной задачи для шины, подверженной локальным эксплуатационным нагрузкам, а также проектирование новых перспективных моделей не может осуществляться без ясного представления о характере распределения усилий в нитях корда и об особенностях деформирования наиболее ответственных элементов шины при ее нагружении внутренним давлением.

Эта задача всегда вызывала и продолжает вызывать неизменный интерес со стороны многих ученых, так как позволяет путем несложных расчетов выяснить работоспособность той или иной модели пневматической шины и тем самым оценить достоверность положенных в ее основу гипотез.

Основные виды разрушения резин в элементах пневматических шин связаны с усталостными явлениями, возникающими в результате динамических циклических деформаций элементов шины при качении по дороге.

Закономерности усталостного разрушения резины являются чрезвычайно сложными и до сих пор не выяснены, несмотря на большое количество работ, посвященных их исследованию.

Во многих элементах шины уже на стадии изготовления появляются внутренние дефекты, которые в процессе эксплуатации под действием циклического нагружения увеличиваются и в результате служат причиной внезапного разрушения. Кроме того, наличие резкой концентрации напряжений приводит к возникновению усталостной трещины уже на самой ранней стадии эксплуатации шины.

Среди основных эксплуатационных факторов, оказывающих влияние на работоспособность шин, можно выделить такие как: нагрузка на шину, углы установки управляемых колес, состояние дорожного покрытия, давление воздуха в шине.

Шину, как оболочку, в принципе, можно было бы учесть и непосредственно, что, однако, в случае нестационарного качения оказывается довольно сложным делом. Конструкция деформируемой периферии допускает математическое описание

в форме совокупности дифференциальных операторов, которые можно рассматривать как математическую модель деформируемого колеса.

Для колеса с пневматической шиной на результат составления определяющих уравнений в теории качения должны влиять такие особенности шины, как-то, что она является оболочкой переменной толщины, неоднородной, конструктивно анизотропной из-за различного расположения нитей корда и слоев каркаса. При этом следует учитывать, что оболочка не является тонкой, что существенное влияние имеют также давление, внутреннее трение, температурные факторы и большие деформации.

Задача о нахождении реакции в области контакта с учетом всех указанных особенностей в нестационарном режиме качения представляется весьма сложной. Как известно, даже случай статического нагружения колеса, с учетом всех названных факторов, вертикальной нагрузкой требует специальных методов расчета.

Преимущества феноменологического подхода заключаются в его относительной простоте и большей доступности с точки зрения понимания, так как здесь довольно свободно можно оперировать различными гипотезами, которые позволяют записать определяющие уравнения теории качения, не вникая во все тонкости сложных механических явлений, наблюдающихся в контактной области колеса.

При этом большинство констант теории, а их оказывается немало, приходится находить из опыта. Однако, если не удалось правильно угадать вид исходных зависимостей, то феноменологическая теория может давать существенные погрешности, а в попытке определить коэффициенты, которые предполагались постоянными, мы приходим к противоречиям. И это является очевидным недостатком феноменологического описания.

Проблема описания автомобильных шин с высокими технико-экономическими показателями требует тщательного изучения их прочности на этапе проведения проектных работ. Это в свою очередь вызывает необходимость в разработке математических моделей, алгоритмов и программ расчета шин при различных видах их нагружения.

Сложность решения контактной задачи для пневматической шины, подверженной действию эксплуатационных нагрузок, предполагает использование численных методов: тригонометрических рядов; локальных вариаций; конечных разностей; конечных элементов.

Исторически сложилось так, что метод представления вектора решений в виде тригонометрических рядов был первым из применяющихся в контактной задаче [1].

Приложение метода локальных вариаций к решению обсуждаемых задач дано в работе [2], в которой разработан усовершенствованный вариант метода, основанный на блочном варьировании неизвестных как по объему конструкции, так и между собой, что позволило уменьшить затраты машинного времени примерно на порядок.

Перспективным методом исследования контактной задачи является метод

конечных разностей. Определенный интерес вызывает работа [3], в которой показана возможность эффективного решения методом конечных разностей контактной задачи для предварительно напряженной шины в линейной и нелинейной постановках.

В последнее десятилетие метод конечных элементов начал применяться к расчету шин [4]. Этому способствовало и то обстоятельство, что за рубежом, в частности в США, были созданы программные комплексы, которыми можно пользоваться, не вдаваясь в детали самого метода.

К настоящему времени метод конечных элементов так и не удалось применить для решения контактной задачи, поставленной в полном объеме с учетом упомянутых особенностей современных шин.

Исследования шин в таксомоторных парках г. Харькова за 1985–1994 годы показал, что до 80 % шин выходят из эксплуатации по причине усталостных разрушений в конструкции шины и их восстановление нецелесообразно. Выход из строя шин по производственным дефектам не превышает 2 % от общего числа шин и ограничивается внутривзаводским контролем качества изготовления шин. Механические повреждения наблюдаются до 20 % случаев выхода шин от общего числа и сильно зависят от условий эксплуатации и величины пробега. До 50 % от общего числа шин выходит из строя по причинам усталостных разрушений (отрыв протектора, расслоение слоев шины, появление трещин на боковине).

Результаты, полученные в работе [5], по мнению авторов, позволяют оценить работоспособность выбранной конструкции шины. Приведено достаточно большое количество иллюстрационного материала по результатам расчетов. На рис. 1 приведено распределение поля распределения контактных давлений при одевании шины на обод, задании рабочего давления и нагружении радиальной нагрузкой (таблица справа отображает численное значение давлений). Однако при расчетах применялась двумерная модель шины, что по нашему мнению, приводит к неточностям в конечных результатах.

Расчет контактной задачи был выполнен авторами работы, для аналогичной шины, в трехмерной постановке и полученные результаты частично опубликованы в работе [6]. На рис. 2 показано вычисленное «пятно» контакта шины с дорогой, полученное путем обжатия шины на плоскости.

Решение контактной задачи было выполнено авторами работы, для аналогичной шины, в трехмерной постановке, а полученные результаты частично опубликованы в работе [6]. На рис. 2 показано вычисленное «пятно» контакта шины с дорогой, полученное путем обжатия шины на плоскости.

Нагружение бортовой зоны шины, которое было получено в работе [5], и представленное в табл. 1, характеризуется большим разбросом полученных расчетных величин и значительно превышает результаты, полученные различными авторами при теоретическом и экспериментальном исследованиях.

Результаты по исследованию нагружения бортовой зоны шины (рис.3), представленные в работах [7,8], были получены на достаточно простой модели боковины шины в виде переменного поперечного сечения единичной ширины

и хорошо согласуются с известными результатами других авторов, что характеризует неточность применения плоской модели шины при использовании метода конечных элементов.

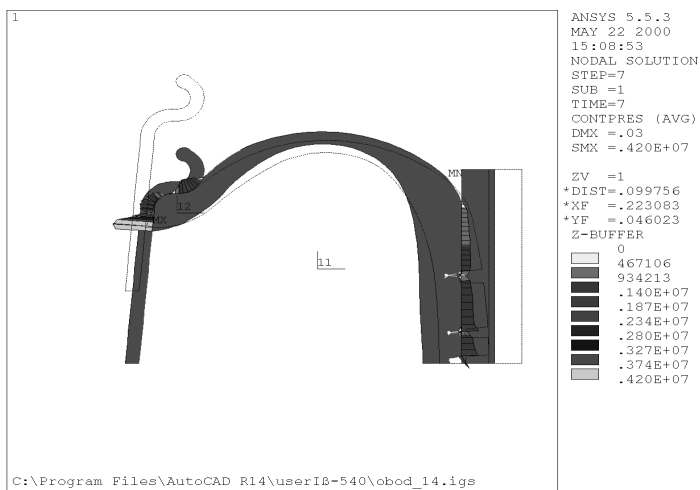


Рисунок 1 – Распределение контактных давлений при нагружении шины радиальной нагрузкой



Рисунок 2 – Контакт шины с дорогой

Таблица 1 – Величины напряжений и контактных давлений по борту шины

Варианты конструктивно-го исполнения шины	Контактные давления, Па	Напряжения в наполнительном шнуре, Па
1	420E+07	543683
2	287E+07	423169
3	428E+07	397012

Экспериментальные исследования являются пока единственным средством оценки нагруженности элементов шины в условиях эксплуатации, когда на шину действуют многие случайные факторы: состояние дорожного покрытия, режимы движения автомобиля, его техническое состояние и так далее. Для

экспериментального исследования нагруженности борта и боковины шины были изготовлены датчики больших деформаций из токопроводящей резины, которые не вносили значительного изменения в конструкцию шины.



Рисунок 3 – Напряжения на поверхности шины в зоне борта для шины 205/70R14 (1 – наружная поверхность; 2 – внутренняя поверхность; пунктиром – 175/70R13)

Датчики укладывались в шинах на стадии сборки в виде розетки и регистрировали деформации в локальной зоне. Розетки размещались на кромках брекера, на каркасе, на боковине шины и в зоне борта шины. Эти зоны шины являются концентраторами напряжений, в которых больше всего выявляются дефекты разрушения. Исследования проводились на барабанном стенде в ведомом режиме движения колеса с различным сочетанием давления воздуха и нагрузки.

Для передачи электрического сигнала с тензометрических датчиков, установленных на вращающейся шине, был изготовлен специальный вал, на котором устанавливалась испытуемая шина. На валу были установлены специальные электрические разъемы и токоъемник.

На рис. 4-6 представлены результаты исследования шин различной конструкции бортового кольца при различном расположении датчиков деформаций. Самыми опасными сечениями являются зоны плеча и область бортового кольца.

Представленные в работе материалы позволяют сделать следующие выводы.

1. Имеющийся опыт работы с современными системами конечно-элементного анализа типа COSMOS/M, ANSYS при расчетах напряженно-деформированного состояния автомобильных шин дает основание признать, что вряд ли возможно делать уверенное прогнозирование улучшения эксплуатационных характеристик данных изделий при проведении расчетов для моделей в двухмерной постановке задач. Авторы работы [5] признают данный факт, ссылаясь на имеющийся дефицит ресурсов вычислительной техники, но вместе

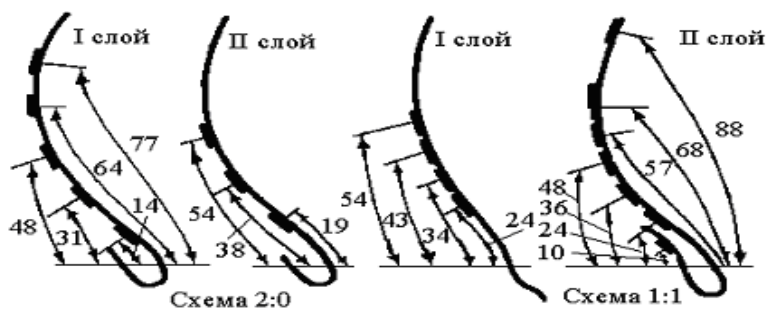


Рисунок 4 – Схема укладки датчиков деформаций по слоям боковины шины 205/70R14 модели ИД-220

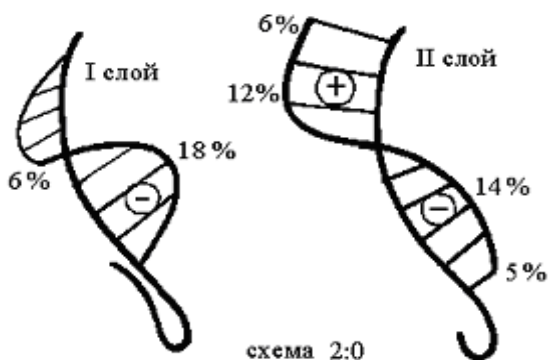


Рисунок 5 – Эпюры распределения деформаций боковины шины 205/70R13 модели ИД-220 со стандартной конструкцией бортового кольца

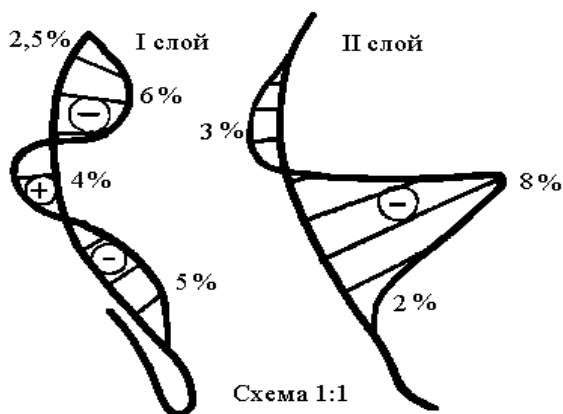


Рисунок 6 – Эпюры распределения деформаций боковины шины 205/70R13 модели ИД-220 с измененной конструкцией бортового кольца

с тем делают достаточно уверенные и точные прогнозы увеличения величины пробега проектируемых автомобильных шин, что вряд ли достаточно правомерно.

2. Современные системы конечно-элементного анализа позволяют создавать практически адекватные по конструктивной точности трехмерные расчетные модели автомобильных шин, что дает возможность получать решения для напряженно-деформированного состояния (НДС) в окружном направлении для каждой структурной составляющей изделия (гермослоя, слоев брекера, каркасного слоя, резины и т.д.), жесткостные характеристики которых в окружном направлении существенно отличаются.

3. Деформирование шины даже при обычном контакте с опорной поверхностью приводит к несимметричному напряженному состоянию, создавая значительные градиенты по окружным компонентам НДС, что особенно опасно в переходных зонах для различных материалов.

4. Основная сложность при постановке и решении проблем такого типа сводится к необходимости решения задач, объем которых по сравнению с задачами при обычной дискретизации возрастает на порядки. Кроме этого, необходимо производить уточнение и учет нелинейностей как физических, так и геометрических, а также учет зависимостей от температуры свойств составляющих структуру материалов, что требует значительных ресурсов применяемой компьютерной техники. И, наконец, хорошо известно, что реальное нагружение любой шины имеет практически вероятностный характер, а диапазон нагрузок при этом на 100% определяется качеством дорог.

Список литературы: 1. Бухин Б.Л. Расчет напряжений и деформаций в пневматических шинах при их вращении // Расчеты на прочность. – 1960. – № 6. – С. 56-66. 2. Кваша Э.Н. Контактная задача для опоясанной тороидальной оболочки // Расчет напряженно-деформированного состояния пластин и оболочек. – Саратов: Изд-во СГУ. – 1981. – С. 10-12. 3. Николаев И.К. Математическая модель и численный метод для расчета шин на осесимметричную нагрузку // Труды междунар. конф. по каучуку и резине «Механика резины, конструирование и испытание резиновых изделий». – Секция В, Вып.2. – Киев, НИИШП. – 1978. – С. В19. 4. Akasaka T. Structural mechanics of radial tires // Rubber Chemistry and Technology. – 1981. – Vol. 54. – № 3. – P. 461-492. 5. Исследование вариантов напряженно-деформированного состояния шины 185/65 R14 модель Я-540 при различной топологии борта, методом конечных элементов, с целью выявления причин низкого пробега, в результате разрушения бортовой зоны каркаса // Отчет по НИР ОАО «Ярославский шинный завод»: Ярославль. – 2000. – 27 с. 6. Ларин А.Н., Школьный С.М. Контактная задача пневматической шины как слоистой анизотропной оболочки // Динамика и прочность машин: Сб. научн. тр. Харьковского государственного политехнического университета, вып. 57. – Харьков: ХГПУ. – 2000. – С. 35-43. 7. Ольшанский В.П., Ларин А.Н. Об изгибе боковины шины // Автомобильный транспорт: Сб. научн. тр., вып. 1. – Харьков: ХГАДТУ, 1998. – С. 38-40. 8. Ольшанский В.П., Ларин А.Н., Коханенко В.Б. О распределении изгибных напряжений в боковине шины температуры // Информационные технологии: наука, техника, образование, здоровье: Сб. научн. тр. ХГПУ. вып. 7. в четырех частях. ч.1. – Харьков: Харьк. гос. политехн. ун-т. – 1999. – С. 341-344.

Поступила в редколлегию 08.06.2006