

Компьютерное автоматизированное проектирование пневматических шин легковых автомобилей

Национальный технический университет «ХПИ»

Разработана параметрическая геометрическая и конечно-элементная расчетная модель пневматических шин легковых автомобилей. Создан алгоритм автоматизированного проектирования этих конструкций, который реализован в виде специализированной системы автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: пневматические шины, параметризация, конечно-элементная модель, система автоматизированного проектирования.

Введение. Обеспечение безопасной и эффективной эксплуатации автомобильного транспорта во многом определяется техническими параметрами автомобилей в движении: управляемостью, устойчивостью движения, экономичностью, плавностью хода, надежностью и др. Следует отметить, что современные транспортные средства работают в условиях непрерывно растущих нагрузок и скоростей, в то время, как экономические реалии выставляют все более жесткие требования к количеству и стоимости используемых материалов, а также к снижению сопутствующих затрат во время эксплуатации. Эти обстоятельства побуждают инженеров к разработке новых, более «утонченных» и сложных конструкций. Данная ситуация в полной мере относится и к пневматическим шинам, чьи свойства и технические характеристики являются ключевыми в формировании параметров движения транспортного средства, на котором они установлены.

Отмеченные обстоятельства привели к устойчивой тенденции в специализации проектирования современных пневматических шин для конкретных сфер использования и, как следствие, к большому разнообразию их конструкций [1-2]. Подобная ситуация ставит перед проектировщиками сложную задачу относительно гибкости принятия решений при создании новых и модернизации существующих моделей, что может быть достигнуто только путем широкого применения информационных технологий проектирования. Использование в конструкторских работах систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяет значительно сократить субъективизм в принятии решений, повысить точность расчетов, оптимизировать вариант конструкции, а также эффективнее использовать технологическое оборудование.

Таким образом, разработка САПР пневматических шин легковых автомобилей – это актуальная научно-практическая задача, решению которой и посвящена данная работа.

Особенности конструкций шины. Все разнообразие пневматических шин формируется вариацией их основных геометрических размеров, свойствами, структурой и количеством слоев, а также рисунком протектора [3-4]. При этом, несмотря на большое разнообразие шин, их принципиальная конструкция и основные структурные элементы остаются неизменными. Пневматическая шина представляет собой многослойную торообразную оболочку.

Геометрическая модель профиля шины имеют сложный контур, который описывается набором дуг окружностей [1,2]. На рис. 1,а показан типичный чертеж

внешнего контура пневматической шины легкового автомобиля (размеры шины украинского производства «РОССАВА» маркировки 175/70R13). К основным размерам шины относятся: внешний D и посадочный D_{rim} диаметры, высота профиля H и ширина B , размах бортов C .

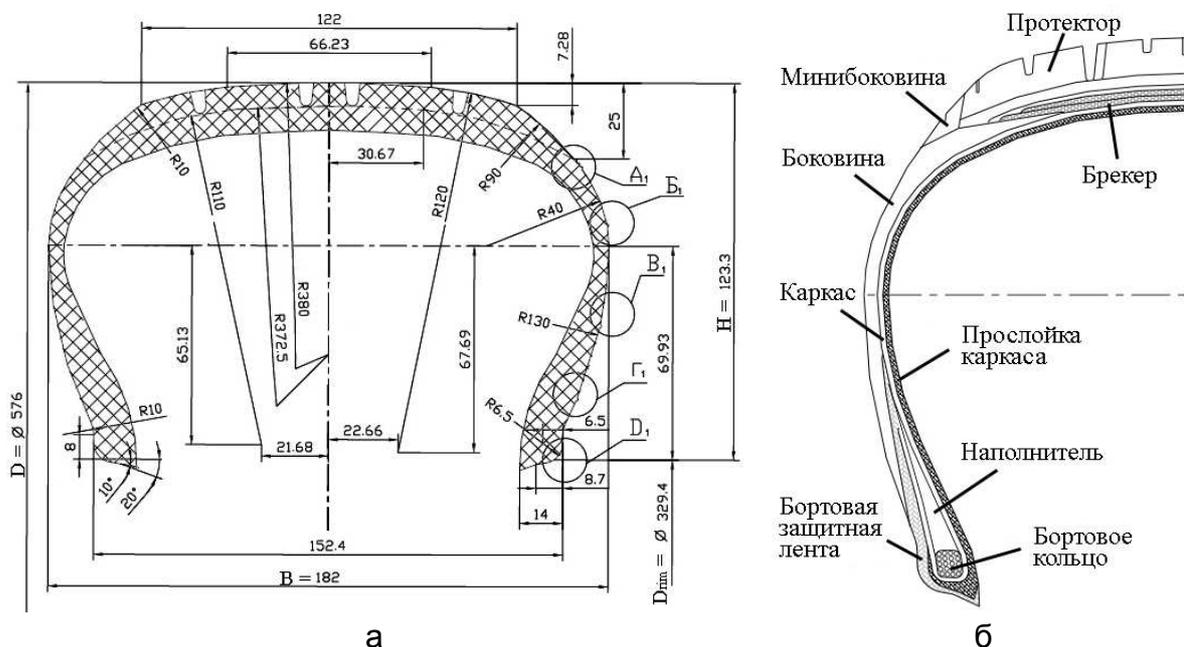


Рис. 1. Основные размеры (а) и структурные элементы (б) шин

Внутренний контур шины определяется типами, размерами, количеством слоев. В зависимости от назначения шины ее внутренняя структура может иметь существенные различия. Вместе с тем, несмотря на большое разнообразие в зависимости от назначения и положения элементов шины существует некоторая унификация ее структуры (рис. 1, б) [1-5].

Так, в основании любой шины лежит резинотканевый кордный слой, который охватывает всю шину и заворачивается вокруг бортовых колец, образуя ее каркас. У бескамерных шин к внутренней стороне каркаса привулканизирован герметизирующий слой (прослойка). По периметру каркаса располагается почти нерастяжимый металлический пояс (бортовое кольцо), который обеспечивает герметичность и надежность посадки шины на диск. Кроме того, бортовое кольцо охватывает каркас и трансформирует его первоначально круглый профиль в более плоский. Беговая часть шины непосредственно находится во взаимодействии с дорожным покрытием и, как следствие, должна обеспечивать наибольшую площадь контакта шины с дорогой (для надежного сцепления) при наименьшей деформации боковой стенки. В связи с этим для увеличения жесткости беговой зоны сверху на каркас накладывается брекер, состоящий из нескольких слоев корда. Внутренняя структура шины защищается от воздействия внешней среды резиновыми слоями: протектором и боковиной.

Компьютерное автоматизированное проектирование пневматических шин легковых автомобилей. Таким образом, пневматические шины являются достаточно сложными объектами проектирования, необходимые анализы и исследования которых, в рамках проектных работ могут быть выполнены только

на основе достоверных математических моделей. При этом к последним выдвигаются, с одной стороны, требования гибкости в плане проведения вариативных исследований, а с другой стороны, они должны учитывать основные конструкционные особенности и их свойства.

Наиболее естественным подходом к решению сформулированных задач в предложенной постановке является компьютерное моделирование, которое основано на применении метода конечных элементов и осуществляется поэтапно:

1. разработка геометрической модели, которая учитывает основные особенности конструкции;
2. задание атрибутов для каждого структурного элемента шины (свойств материалов, локальных систем координат и др.);
3. нанесение расчетной (конечно-элементной) сетки;
4. задание граничных условий и нагрузок.

Параметрическое описание компьютерной модели шины. Гибкость в рассмотренном компьютерном моделировании может быть достигнута только в рамках реализации автоматизации всех его этапов. Ключевым вопросом в этой проблеме [3-5] является параметрическое описание объекта исследования. При этом необходимо определить набор независимых параметров и зависимости, в соответствии с которыми вычисляются остальные параметры конструкции. Основные параметры геометрии шины и некоторые базовые связи между ними представлены в виде диаграммы классов UML (рис. 2).

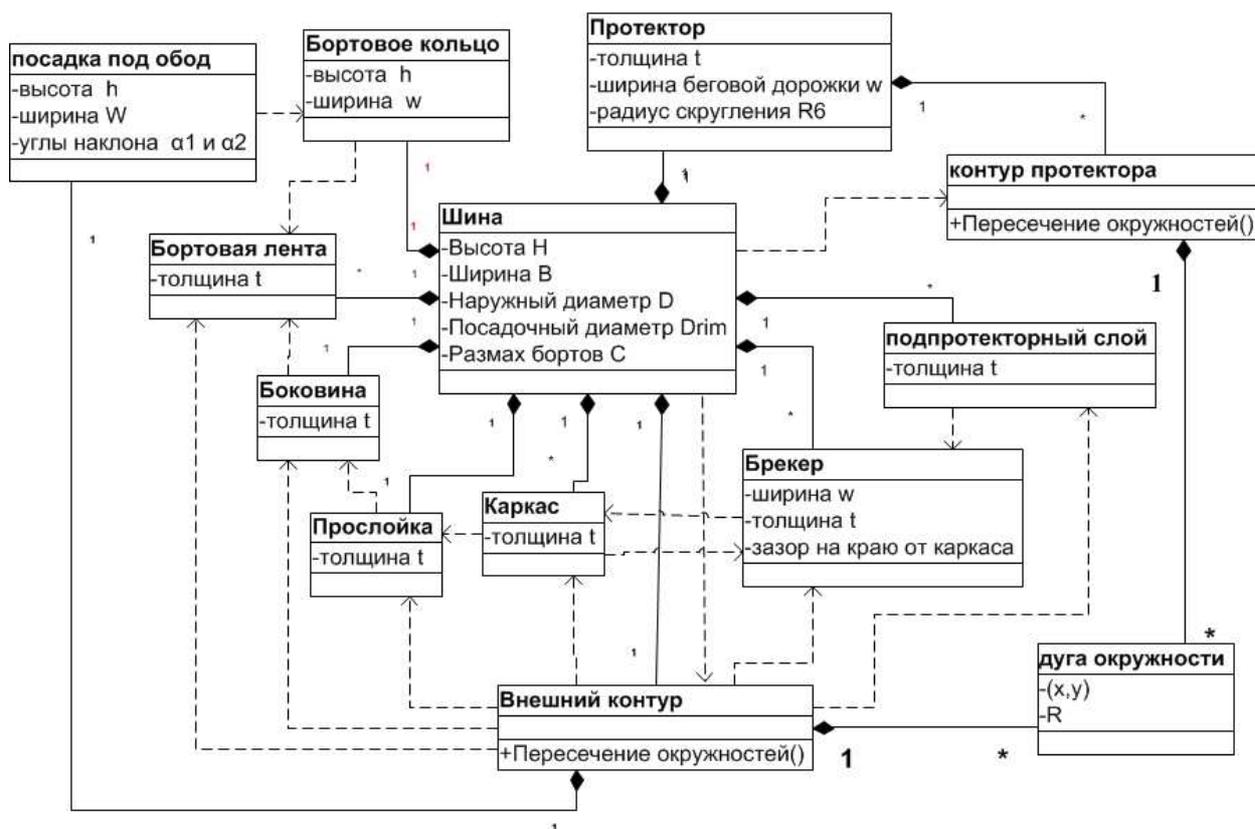


Рис. 2. Диаграмма классов

(пунктирной линией изображены зависимости между элементами, сплошной линией с ромбом на конце – композиция элементов, т.е., то, что один элемент есть частью другого)

К базовому геометрическому элементу шины относится ее внешний контур, который представляет собой набор дуг окружностей, вписанных в крайние габаритные точки: центр беговой дорожки протектора, крайние точки ширины профиля положения борта (см. рис. 1). Таким образом, независимыми параметрами внешнего контура являются центры и радиусы образующих его дуг (см. рис. 2). Независимыми параметрами контура протекторного слоя аналогично являются центры и радиусы образующих его дуг. Контурные остальные детали, в качестве независимых параметров, имеют значения толщин слоев и параметры, определяющие их крайние положения относительно внешнего контура.

При реализации данного алгоритма поддерживалась парадигма объектно-ориентированного моделирования таким образом, что каждый из элементов структуры общей модели представляется некоторым объектом с присущими ему компонентами и параметрами. Поддержка этого подхода позволила в дальнейшем достаточно легко проводить идентификацию (выделение) каждого из слоев и строго привязать параметры конструкции к соответствующим объектам.

Объектная структура модели формально задается диаграммой классов и изображена на рис. 2.

Алгоритм автоматизированного построения геометрической модели пневматической шины. Особенности конструкции шины определяют принципы ее проектирования. Действительно, внутренний контур представляется оболочкой вращения, а на внешнем – осевая симметрия нарушена вследствие наличия протектора. Однако стоит отметить, что рисунок протектора также имеет шаг повторения, т.е. обладает циклической симметрией. В этой связи внутреннюю структуру шины (геометрию, размеры, количество и тип слоев) создают в осесимметричной постановке, а сектор протектора, который впоследствии как круговой массив накладывается и сопрягается сверху на шину, разрабатывается отдельно.

В данной работе основное внимание уделено проектированию профиля шины и его структурным элементам, которые фактически определяют несущую способность шины. При этом не учитываются особенности рисунка протектора.

Предложенный алгоритм построения геометрической модели шины основывается на принципе восходящего проектирования (рис. 3):

1. в соответствии с габаритными размерами определяются координаты крайних точек контура профиля шины;
2. строятся опорные точки центров окружностей, которые формируют внешний контур профиля шины и контур протекторного слоя;
3. между крайними точками профиля строятся дуги окружностей, при этом размеры углов соседних секторов (их общая точка) определяются из решения задачи их пересечения;
4. по заданным геометрическим параметрам строится внешний контур борта;
5. для всех последующих слоев в соответствии с толщинами и другими дополнительными параметрами, определяющими геометрию и положение, задаются опорные точки их внутренних контуров;
6. последовательно для каждого слоя в соответствии с опорными точками строятся контуры путем сплайн-интерполяции по опорным точкам;
7. проводится идентификация замкнутых контуров для каждого из слоев, и натягиваются плоские поверхности;
8. объемная модель строится путем протягивания профиля по окружности.

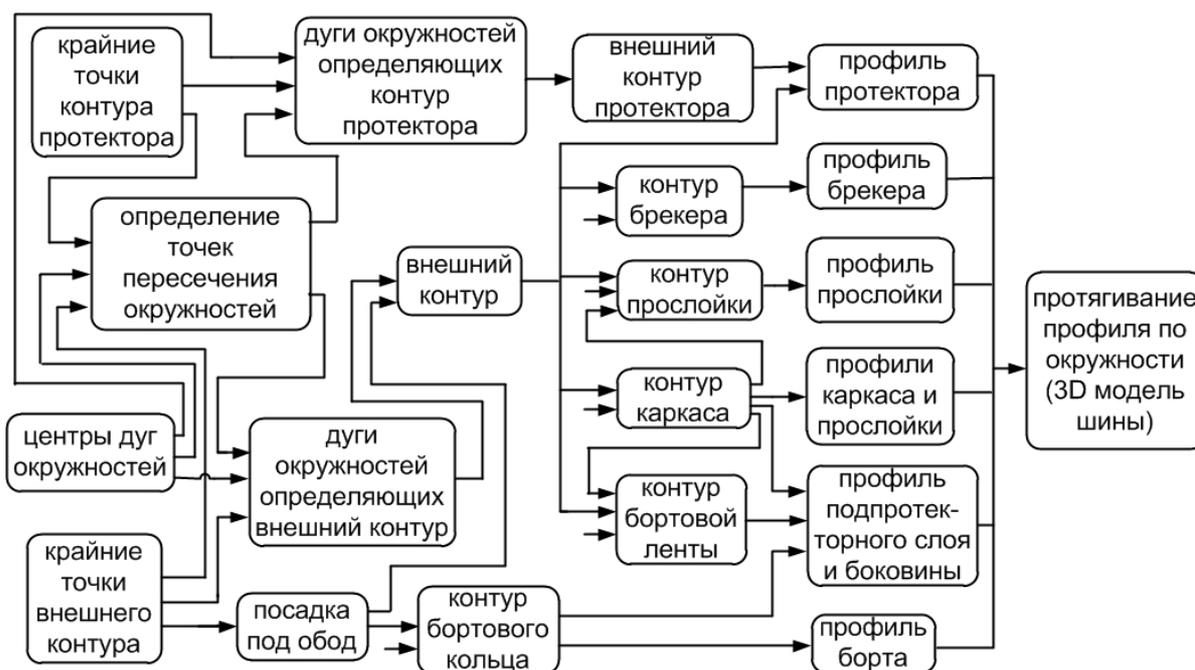


Рис. 3. Функциональная диаграмма проектирования

Предложенный алгоритм позволяет автоматизировать построение геометрической модели шин для широко класса пневматических шин, к которым относятся наиболее распространенные на сегодняшний день радиальные бескамерные шины легковых автомобилей. В результате работы была создана интегрированная компьютерная система, представляющая собой специализированную САПР по построению моделей пневматических шин, которая реализует разработанный алгоритм и структурную схему. Данная интегрированная компьютерная система представляет собой управляющую программу, которая создает и выполняет специализированный макрос в программном комплексе конечно-элементного анализа ANSYS.

На рисунке 4 показаны два различных профиля таких шин, построенных на основе предложенного алгоритма и созданной специализированной САПР.

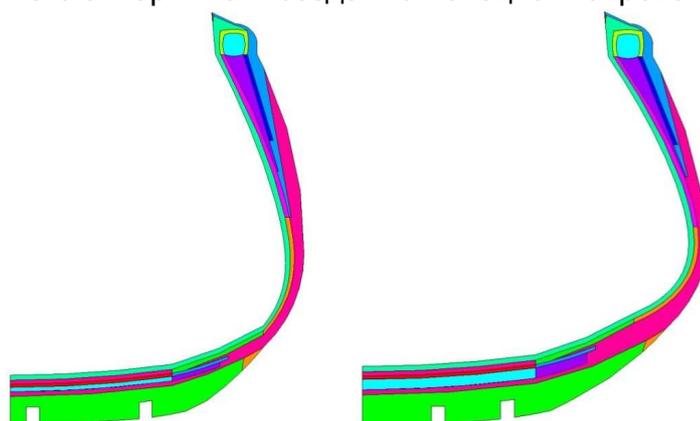


Рис. 4. Варианты профиля шин, созданные на основе разработанной САПР

В основе каждого из слоев пневматической шины лежат различные резиновые смеси и композитные материалы, свойства которых имеют существенные различия. В этой связи перед созданием расчетной схемы для

каждого слоя была проведена процедура задания его уникальных атрибутов: свойств материала и материальной системы координат.

Автоматизация построения расчетной модели шины. В соответствии с рассмотренной схемой компьютерного моделирования следующим этапом является нанесение расчетной конечно-элементной сетки. Параметры сетки существенно влияют на результаты расчетов и вместе с тем зависят от типа проводимого анализа, граничных условий и других особенностей математической постановки задачи. Поэтому построение адекватной конечно-элементной сетки может быть выполнено только итерационно и для конкретного типа анализа. На первом этапе вне зависимости от типа анализа необходимо построить конечно-элементную модель, которая будет учитывать очевидные места концентрации напряжений (области с резкими изменениями геометрии) и не иметь вырожденных элементов.

Конечно-элементную сетку пневматической шины естественно строить аналогично с созданием геометрической модели, т.е. сначала наносится плоская сетка на профиль, а затем строятся последующие трехмерные элементы путем экструзии по окружности (протягивания вокруг оси вращения) плоской сетки профиля. Основной расчетный вариант конечно-элементной сетки, сгенерированной автоматически по предложенному алгоритму показан на рис. 5.

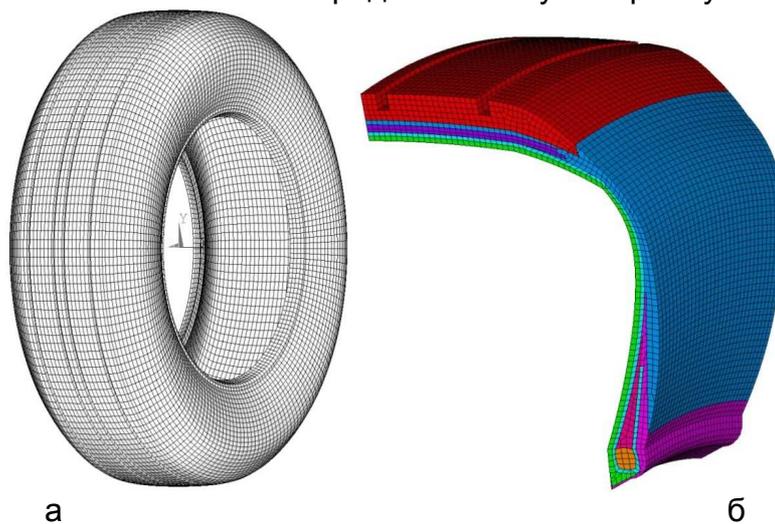


Рис. 5. Объемные конечно-элементные модели всего колеса (а) части сектора (б)

С использованием созданных конечно-элементных моделей, была проведена серия расчетных исследований по формированию напряженного состояния в элементах шины при различных уровнях внутреннего давления, которые являются классическими для проектных исследований пневматических шин. Полученные результаты хорошо согласуются с известными данными классического проектирования и натурных экспериментов. Результаты этих расчетов показаны на рис. 6.

Выводы. Таким образом, в работе разработано специализированную САПР для построения геометрической и расчетной (конечно-элементной модели) пневматических шин легковых автомобилей. Представлено сквозное параметрическое описание конструкции шины и алгоритмы автоматизированного проектирования.

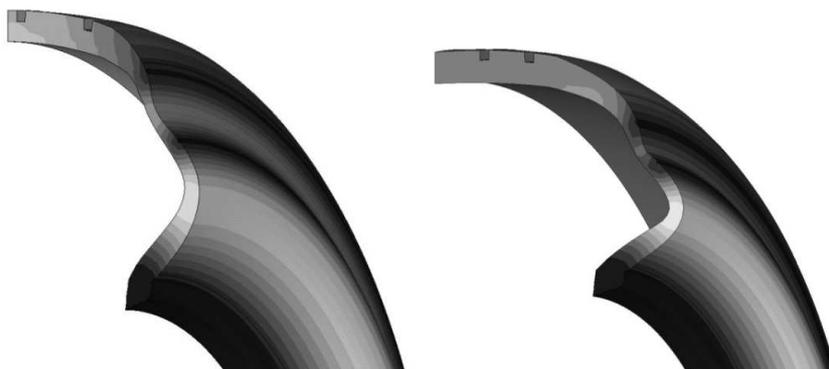


Рис. 6. Деформированные формы для частей шин разных конструкций

Список литературы

1. Ларин А.Н. Колесные узлы современных автомобилей / А.Н. Ларин, Е.Е. Черток, А.Н. Юрченко. – Х.: С.А.М., 2004. – 260 с.
2. Clark S.K. The pneumatic tire / S.K. Clark (Chairman of Edit. Board). – National Highway Traffic Safety Administration. USA Dep. of Transportation, 2006. – Pp. 707
3. Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин / Б.Л. Бухин. – М.: Химия, 1988. – 224 с.
4. Кнороз В.И. Работа автомобильной шины / В.И. Кнороз.– М.: Транспорт, 1978. – 238 с.
5. Ларин А.А. Компьютерное моделирование пневматической шины с учетом ее внутренней многослойной структуры и ортотропии механических свойств / А.А. Ларин, Ю.В. Арефин // Вестник НТУ ХПИ. – Х.: НТУ «ХПИ», 2010.– № 69.– С. 72-78.

Рецензент: д.т.н., проф. Бреславский Д. В., декан инженерно-физического факультета Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Поступила в редакцию 20.05.2011

Комп'ютерне автоматизоване проектування пневматичних шин легкових автомобілів

Розроблено параметричну геометричну та скінченно-елементну розрахункову модель пневматичних шин легкових автомобілів. Створено алгоритм автоматизованого проектування цих конструкцій, який реалізовано як у спеціалізовану систему САПР.

Ключові слова: пневматичні шини, параметризація, скінченно-елементна модель, система автоматизованого проектування.

Computer-aided automated design of pneumatic tires of cars

A parametric geometry and finite element computational model of pneumatic passenger car tires are developed. An algorithm-aided design of these structures, which is implemented as a specialized computer-aided design system is created.

Keywords: pneumatic tires, parameterization, finite element model, computer-aided design.