

## Расчет автомобильного колеса спицевой конструкции

*Харитонов Максим Петрович*  
*Московский политехнический университет*  
*студент*

*Рыбакова Маргарита Рушановна*  
*Московский политехнический университет*  
*старший преподаватель*

### Аннотация

Автомобильное колесо во многом определяет безопасность движения и оказывает существенное влияние практически на все основные технико-эксплуатационные показатели транспортного средства, такие как тягово-скоростные, тормозные, топливно-экономические. В этой связи определение напряженно-деформированного состояния колеса является актуальной задачей.

**Ключевые слова:** автомобильное колесо, напряженно-деформированное состояние.

## Calculation of the automobile wheel of the spoke design

*Haritonov Maksim Petrovich*  
*Moscow Polytechnic University*  
*student*

*Rybakova Margarita Rushanovna*  
*Moscow Polytechnic University*  
*senior lecturer department "Dynamics, durability of machines and resistance of materials"*

### Abstract

The automobile wheel in many respects defines traffic safety and has significant effect practically on all main technical operating characteristics of the vehicle, such as traction and high-speed, brake, fuel and economic. In this regard definition of the intense deformed condition of a wheel is an urgent task.

**Key words:** automobile wheel, intense deformed state.

Автомобильное колесо во многом определяет безопасность движения и оказывает существенное влияние практически на все основные технико-эксплуатационные показатели транспортного средства, такие как тягово-скоростные, тормозные, топливно-экономические. Оно определяется такими параметрами как, масса, момент инерции и геометрические характеристики.

Кроме того, являясь изделием массового производства, располагает значительным потенциалом для экономии металла. В этой связи определение напряженно-деформированного состояния колеса является актуальной задачей.

Как известно, на ранних стадиях развития наибольшее распространение получила спицевая конструкция колеса, преимущества которой особенно ярко проявились при больших его размерах на тихоходных повозках, так как отдельно стоящие спицы позволяли снизить массу и обеспечить необходимую прочность.

На первых образцах автомобилей применялись также спицевые, в основном деревянные конструкции, унаследованные от конно-гужевых видов транспорта. Повышение грузоподъемности и скоростных качеств автомобиля заставило отказаться от деревянных колес и перейти на сплошные со штампованным сплошным диском, обладающим наибольшей приспособленностью к технологии крупносерийного производства. Такие изделия, обладая повышенной прочностью и жесткостью, уступали, однако, деревянным по массе, что для скоростного комфортабельного автомобиля оказалось малопримемым. Достаточной альтернативой стальным колесам оказались колеса из легких, преимущественно алюминиевых сплавов, технология изготовления которых позволяла существенно улучшить дизайн этой видовой детали, а также, что особенно важно, придать колесу объемную форму, обладающую повышенной прочностью и жесткостью, одновременно существенно снижая его массу, что благоприятно сказывается на ходовых качествах автомобиля.

Анализируя направление развития современных конструкций легкосплавных колес, можно отметить установившуюся к настоящему времени тенденцию все более нарастающих объемов производства и применения спицевых видов колес, как наиболее эффективных с точки зрения прочности и жесткости, а также наиболее полно отвечающих требованиям дизайна, спицевые конструкции оказываются наиболее предпочтительными в связи с возрастающими размерами колеса, в силу все более увеличивающихся посадочных диаметров современных низкопрофильных шин.

Колесо длительный период, вплоть до начала прошлого века, оставалась с точки зрения прочностных свойств «черным ящиком», лишенным обоснованных методов расчета, а проектирование этого важного и ответственного изделия основывалось на интуиции и практическом опыте его создателей.

В середине прошлого века, во многом благодаря усилиям отечественных специалистов, представляющих школу Центрального конструкторского бюро колесного производства, началась планомерная масштабная деятельность по созданию научных основ расчета и проектирования автомобильных колес. Наиболее продвинутыми методами расчета оказались те, которые относятся к расчету обода колеса.

Иначе обстоит дело с той частью колеса, которая выполняет роль связующего звена между ободом и ступицей подвижного средства и выполняется либо в виде выпуклого диска, либо отдельных спиц. Последнее характерно для литых колес легковых автомобилей, изготавливаемых из легких сплавов. Следует констатировать, что в отношении этой части колеса, реагирующей на воздействие внешних сил и практически нечувствительной к силам внутреннего давления воздуха в шине, то успехи по развитию аналитических методов расчета остаются гораздо более скромными, поскольку и сам объект, и характер нагрузки отличаются повышенной сложностью. По этой причине основным методом расчета в настоящее время является метод конечного элемента. Этот метод наряду со своей универсальностью обладает и недостатком, который связан с непрозрачностью сложного расчетного аппарата, во многом затрудняющего процесс направленной оптимизации конструкции.

В этой связи разработка относительно простых аналитических методов расчета, содержащих очевидные параметры количественного влияния на напряженно – деформированное состояние (НДС) объекта, остается по-прежнему актуальной и востребованной специалистами, занятыми проектированием изделий колесной техники.

При формировании расчетной модели спицевой части колеса используем предложение об аналогии между радиально расположенными спицами колеса и фермой, у которой нижний пояс представляет собой обод, а верхний пояс стянут к центру колеса [1]. Это обстоятельство открывает возможность существенного упрощения расчетной модели, число неизвестных усилий может быть снижено в три раза, поскольку из трех неизвестных силовых факторов в сечении сопряжения спицы и обода: изгибающего момента, поперечной и продольной сил, в качестве учитываемой остается одна продольная сила, а спицы оказываются нагруженными, как это и имеет место в ферме, только силами растяжения – сжатия.

Данный вывод подтверждается тем, что спицы литых колес современных легковых автомобилей выполняются постоянного сечения и, как показывает опыт при эксплуатации, такая конструкция оказывается вполне работоспособной.

Высказанные соображения дают основания для вывода о том, что спицевая конструкция литого автомобильного колеса может быть представлена расчетной схемой с количеством неизвестных усилий, равным количеству спиц. С учетом симметрии, например, наиболее распространенная конструкция пятиспицевого колеса, схема которого показана на рисунке 1, будет содержать всего три неизвестных усилия.

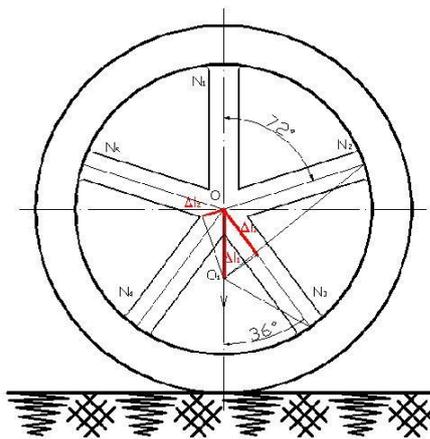


Рисунок 1 - Расчетная схема спицевого колеса

Для решения задачи помимо уравнения равновесия [2] в виде проекции всех сил на вертикальное направление, с которым совпадает положение верхней спицы 1, как это показано на рисунке, требуется составить только два уравнения, связывающие деформацию верхней спицы 1 с наклонной ближайшей к ней спицей 2, а так же деформации спицы 1 и нижней наклонной спицы 3. Используя закон Гука [2], уравнение деформаций легко преобразуется в недостающее уравнение сил, замыкая систему трех уравнений, которые необходимы для определения трех неизвестных усилий в спицах пятиспицевого колеса.

Окончательно система уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} N_1 + 2N_2 \cos 72^\circ + 2N_3 \cos 36^\circ &= G; \\ N_2 &= N_1 \cos 72^\circ; \\ N_3 &= N_1 \cos 36^\circ. \end{aligned}$$

где  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  – неизвестные усилия в спицах;  $G$  – вес, приходящийся на колесо.

Решение системы позволяет определить усилие в каждой спице в зависимости от нагрузки, действующей на колесо

$$N_1 = 0,40G; N_2 = 0,12G; N_3 = 0,32G$$

При повороте колеса на  $180^\circ$  усилие в каждой из рассмотренных спиц поменяют знак, оставаясь такими же по абсолютной величине.

При этом, как в первом, так и во втором случаях наибольшее усилие принимает на себя вертикально расположенная спица 1, составляющая 40% от  $G$ , а наименьшее спицы, имеющие наименьший угол наклона к горизонту, усилия в которых составляют порядка 12% от  $G$ .

Следовательно, при качении пятиспицевого колеса нагрузка каждой спицы меняется от  $+0,40G$  до  $-0,40G$  в тот момент, когда спица оказывается в вертикальном положении.

Заключая изложенное, можно констатировать правомерность использования расчетной модели, интерпретирующей спицевую часть автомобильного колеса в виде статически неопределимой фермы, раскосами

которой являются спицы, стянутые с одного конца в узел вокруг центра колеса, а роль нижнего пояса фермы выполняет обод. Предлагаемая расчетная модель позволяет существенно, в разы понизить степень статической неопределимости системы и свести исключительно сложные математические выкладки к простым аналитическим зависимостям.

Практическая реализация предложенного метода расчета спицевой конструкции колеса, оборудованного пневматической шиной, позволяет относительно просто, буквально на рабочем месте расчетчика или конструктора без больших затрат времени анализировать напряженно-деформированное состояние автомобильного колеса и осуществлять процесс целенаправленного поиска оптимальной конструкции с точки зрения рационального расходования материала и обеспечения достаточной прочности колеса. Это несомненно будет способствовать практическому внедрению изложенного метода расчета, повышая эффективность проектирования, экономичность и безопасность одного из важнейших и ответственных узлов автомобиля.

### **Библиографический список**

1. Балабин И.В. Аналитический метод расчета спицевого колеса современного легкового автомобиля // Автомобильная промышленность, 2008. №8.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2013.