

УДК 629.3.027:620.178.324

Александр Михайлович Вахромеев, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, wheeltest@bk.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА КОЛЕС АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Аннотация. Рассмотрены методы обеспечения надежности и качества колес автотранспортных средств на разных этапах их производства – от проектирования до отправки потребителям. Сформулированы требования к обязательным процедурам контроля качества при проектировании и изготовлении разных типов автомобильных колес.

Ключевые слова: транспортное средство, автомобильное колесо, свойства материала, метод конечных элементов, испытания на прочность.

Alexander M. Vakhromeyev, Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, wheeltest@bk.ru

ENSURE RELIABILITY AND QUALITY WHEELS OF VEHICLES

Abstract. Methods of reliability and quality of the wheels of vehicles in various stages of production – from design to send to consumers. The requirements to mandatory quality control procedures in the design and manufacture of various types of automobile wheels.

Keywords: vehicle, car wheel, material properties, finite element method, strength tests.

Введение

Надежность колеса в значительной мере определяет безопасность транспортного средства. Отказ колеса может быть обусловлен двумя основными причинами: превышением параметрами нагруженности допустимых величин опасного уровня воздействий при аварийной

ситуации и недостаточной несущей способностью колеса из-за несоответствия его конструкции данному транспортному средству.

Аварийная ситуация может быть вызвана различными отклонениями в дорожной обстановке – наезд на препятствие, занос и т.д. Вследствие этого изменяется штатная нагруженность (рис. 1) колеса, соответствующая его стационарному качению по ровному дорожному покрытию – происходит ударное взаимодействие колеса через шину с препятствием. Кроме того, в процессе эксплуатации колесо подвержено действию нестационарных циклических силовых возмущений, определяемых взаимодействием колеса через шину с дорожным покрытием от нагрузок со стороны транспортного средства.

Таким образом, колесо, которое должно передавать усилия и моменты, действующие между автомобилем и дорогой, обеспечивая его движение, должно надежно противостоять ударным и циклическим нагрузкам на протяжении всего жизненного цикла [1].

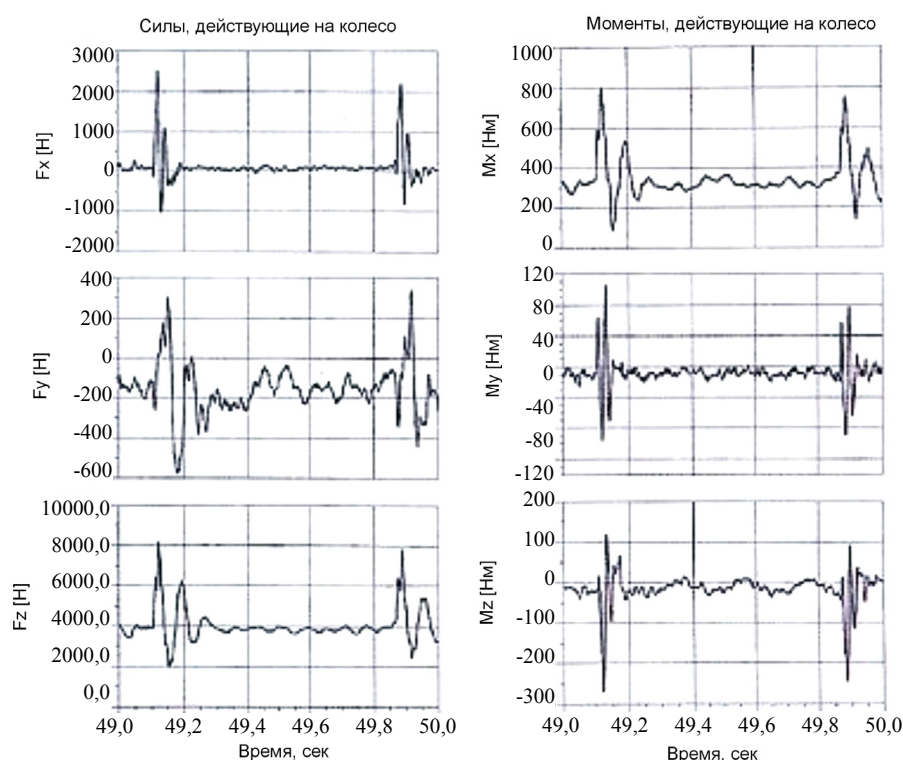


Рис. 1. Нагрузки, действующие на колесо автомобиля в эксплуатации

На этапе проектирования рассматриваются условия циклического и ударного нагружения колеса отдельно, также как и на этапе сертификационной оценки его прочностных характеристик. При этом учитываются механические свойства материала, полученные на образцах, вырезанных из заготовок колес в наиболее напряженных местах.

Проектирование колеса в зависимости от способа его изготовления и материала разделяется на несколько шагов: создание рисунка внешнего вида колеса или его дисковой части (дизайнерская проработка), разработка конструкторской документации, прочностной расчет, моделирующий поведение конструкции в эксплуатации, и конечном этапе – уточнение чертежа. При реализации созданной конструкции используются стальной лист (в конструкциях стальных колес), или алюминиевые и магниевые сплавы (легкосплавные колеса – литые и кованные или комбинированные). Создание стального колеса является достаточно традиционным, требования к ним со стороны производителей автомобилей в основном сводятся к минимальным осевым и радиальным биениям (максимум 0,5 мм). Выполнение этих требований является основной проблемой для колесных производств.

Стальные колеса изготавливают из листового металла методом штамповки и вальцовки с последующей сваркой составляющих деталей. Благодаря оптимальному соотношению эксплуатационных свойств и себестоимости этими колесами комплектуется основная часть выпускаемых в мире автомобилей.

К бесспорным достоинствам стальных колес можно отнести их доступную цену, достаточные эксплуатационные свойства при применении высокопрофильных шин.

К недостаткам – невозможность свести к минимуму биение и геометрические отклонения, недостаточную упругую деформацию при сильном ударе колеса о препятствие, ведущее иногда к быстрой потере давления в бескамерной шине.

В настоящее время наряду с отечественными стальными колесами в продаже имеются и зарубежные, отличающиеся более высокой точностью изготовления и качеством покрытия, а также разнообразием дизайна.

Развитие автомобилестроения, идущее по пути применения новых легких материалов, очевидная необходимость снижения неподрессоренной массы подвески автомобиля приводят к все более широкому использованию технологий литья и горячей объемной штамповки легких сплавов.

Построение технологического процесса изготовления легкосплавных колес существенно отличается от изготовления традиционного стального колеса и включает такие специфические операции как рентген-контроль структуры заготовок, механическую обработку обода и привалочной плоскости колеса, контроль герметичности и ряд других операций. Кроме того, отличаются операции нанесения защитных покрытий. Для легкосплавных колес обычно используются многослойные покрытия, включая защитную и декоративную краски и лак.

Легкосплавные колеса делятся на два вида, принципиально различающихся по способу изготовления: литые и кованные. Основным материалом для их производства являются сплавы на основе алюминия, реже магния, имеются разработки колес из титановых сплавов.

Легкосплавные колеса обрабатываются на высокоточных металлорежущих станках, что практически исключает их биение после установки на автомобиль. Защитное покрытие таких колес не уступает по стойкости лакокрасочным хромированным покрытиям стальных, а не редко и превосходит их. Легкосплавные колеса имеют более жесткую, чем стальные, конструкцию и поэтому реже деформируются.

Все легкосплавные колеса, изготовленные и допущенные к продаже в России, отличаются повышенной прочностью, так как система сертификации более жесткая, чем в европейских странах.

Литые колеса

Особенностью технологического процесса изготовления литых колес является получение отливки, максимально приближенной по размерам к заданной конструкции. При последующей механической обработке снимается минимум материала, а все дизайнерские решения закладываются при проектировании литейной формы.

Различные способы литья имеют свои особенности, достоинства и недостатки, влияющие на образование той или иной структуры сплава. При изготовлении каждой партии литых колес делается контрольная отливка, которая подвергается резке и разрушению для оценки структуры и механической прочности. Рентгеновский контроль проходит каждое колесо.

Таблица 1

Приблизительный химический состав литейного алюминиевого сплава

С термической обработкой	Без термической обработки
Al Si7MgSr	Al Si7MgSr
Si 6,5–7,5	Si 10,5–11,5
Fe < 0,15	Fe < 0,15
Mg 0,25–0,30	Mg 0,10–0,30
Ti 0,10–0,15	Ti 0,10–0,15
Cu < 0,03	Cu < 0,03
Sr 0,01–0,02	Sr 0,015–0,035

Таблица 2

Механические свойства литейного алюминиевого сплава

	С термической обработкой	Без термической обработки
Предел прочности	210 Н/мм ²	160 Н/мм ²
Предел текучести	140 Н/мм ²	80 Н/мм ²
Относительно удлинение	5%	5%

Из всех выпускаемых в мире легкосплавных колес подавляющее большинство – литые и лишь незначительная часть – кованные.

Объясняется это несоизмеримыми различиями в сложности и в экономике производственных процессов. Изготавливать литые колеса можно в условиях небольших производств, а кованые под силу только крупным металлургическим заводам с мощным прессовым оборудованием, соответственно себестоимость кованых колес выше, чем литых.

Кованые колеса

При производстве кованых колес в России используется технология объемной (горячей) штамповки. В других странах применяют метод раскатки (холодное формование).

При изготовлении колеса заготовку подвергают поэтапной штамповке с промежуточным нагревом перед каждой деформацией. Такая технология обеспечивает получение волокнистой структуры материала изделия, и увеличение его прочности. Усилие, развиваемое прессом при штамповке, может достигать 20 тысяч тонн, а штамп весить 10 т. Все особенности дизайна (форма спиц, окон, переходов и т.д.) достигаются обработкой заготовки на металлорежущих станках, при этом «переводится в стружку» более половины ее веса. Некоторые заводы для уменьшения себестоимости изготовления используют технологию выштамповки окон между спицами.

Защитное покрытие легкосплавных колес

Колеса, изготовленные на основе алюминия и магния, обязательно защищают от воздействий внешней среды специальными защитными покрытиями. Если при использовании алюминиевых сплавов нарушение целостности покрытия наносит ущерб внешнему виду колеса, то магниевые – подвержены глубокой коррозии, вплоть до разрушения отдельных участков. Для обеспечения адгезии (сцепления) защитного покрытия с окрашиваемой поверхностью колесо перед окраской

обязательно подвергают электрохимической (гальванической) или химической обработке.

Проектирование колес осуществляется с использованием элементов «сквозного САПРа», при выборе внешнего вида используются программы твердотельного моделирования.

Дизайн легкосплавных колес многообразнее, чем у стальных. Внешний вид играет немаловажную роль во «внешности» автомобиля, владелец которого отдает предпочтение художественному решению наиболее близкому его вкусу. Однако красивая форма колеса не является оптимальной с точки зрения его прочности. Для компенсации этого при проектировании приходится делать более массивным некоторые элементы. Например, малое спиц (2 или 3) вынуждает увеличивать толщину обода, так и самих спиц, что увеличивает вес и момент инерции колеса. Напротив, большое число спиц позволяет сделать более тонкими обод и сами спицы. Оптимальный дизайн – это такое сочетание конструкции и формы, при котором можно, сохраняя прочность, получить минимальный вес колеса.

Твердотельная модель разбивается на сетку конечных элементов для последующего расчетного анализа с помощью МКЭ. Генерация конечно-элементной модели производится автоматически.

Прочностной расчет с использованием конечно-элементных комплексов, адаптированных для решения задач расчета объемных конструкций колес неоднократно проверялся методами тензометрии и дал хорошие результаты [2], [3].

Как показывает практика процесс прочностной доводки колес после применения расчета напряженно-деформированного состояния в условиях, моделирующих лабораторные испытания и условия эксплуатации, значительно сокращается и не требует существенных переделок технологической оснастки. На рисунке 2 приведены конечно-элементная

модель и расчетная схема (а) нагружения алюминиевого литого колеса размерности 6Jx15H2 в условиях стендового нагружения при испытаниях на изгиб с вращением и (в) изолинии расчетных эквивалентных напряжений в колесе.

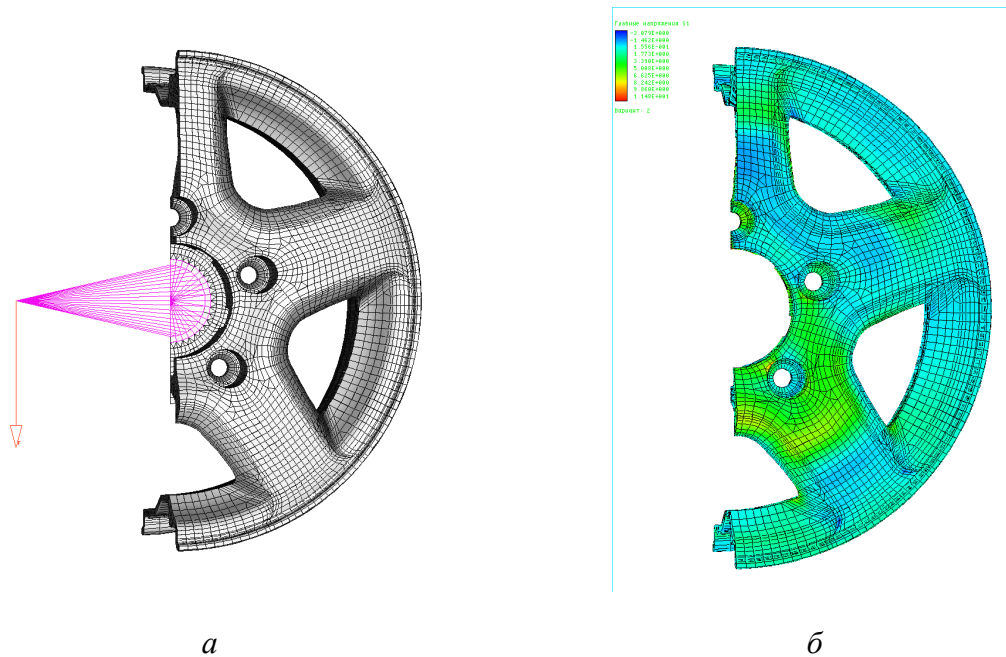


Рис. 2. Конечно-элементная модель литого колеса в условиях нагружения по типу «изгиб с вращением»: а – модель нагружения, б – изолинии эквивалентных напряжений

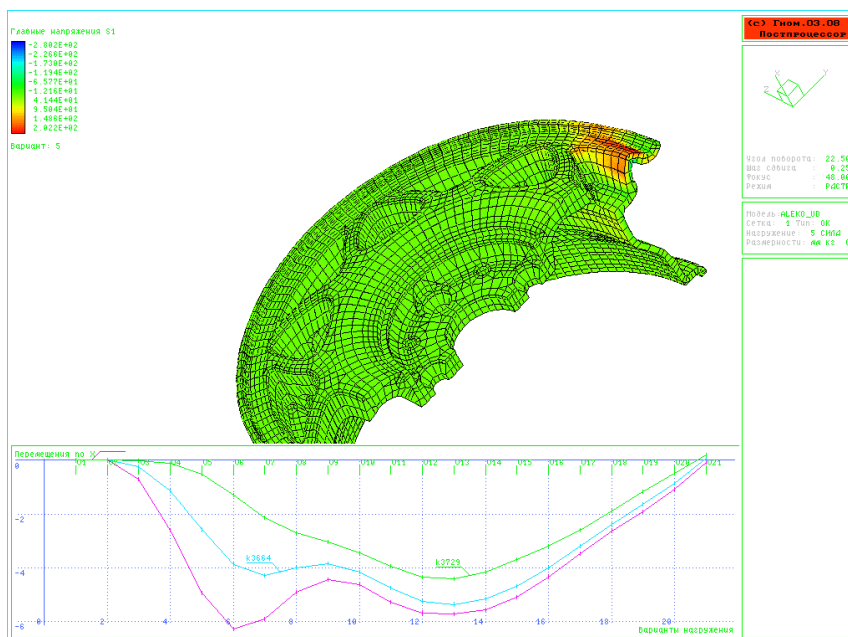


Рис. 3. График перемещения точек колеса во времени и главных напряжений при ударе с импульсом длительности 0,0001 сек.

На рисунке 3 показаны расчетные перемещения отдельных точек конечно-элементной модели колеса, полученные при моделировании условий стендовых испытаний на удар под 30° с импульсом длительностью 0,0001 сек.

В процессе изготовления колеса предусмотрена обязательная проверка герметичности обода для установки бескамерной шины.

Колесо, удовлетворяющее требованиям либо изготовителя транспортного средства, либо нормативным документам, определяющим перечень методов испытаний колес перед выпуском на вторичный рынок, должно подвергнуться независимым испытаниям, включающим испытания на усталость, удар и при статическом нагружении. Количество испытаний и методика их проведения определяются национальными стандартами Германии, Японии или России в зависимости от того, на чей рынок будут поставляться колеса [4], [5]. Наиболее жесткие требования по испытаниям колес содержатся в российском стандарте, но при создании очередной редакции Правил ЕЭК ООН по испытаниям колес удалось достичь некоторого согласования с немецкой стороной. В частности, помимо испытаний на усталость при изгибе с вращением, моделирующем движение колеса на вираже, и радиальной динамической нагрузке для воспроизведения поведения колеса в сборе с шиной при езде по гладкой прямой, предусмотрено проведение испытаний на косоу удар, которые позволяют оценить несущую способность колеса при столкновении с препятствием (рис. 3). Этот набор испытаний вместе с испытаниями жесткости бортовых закраин обода служит основой для проведения сертификационных испытаний в России. Кроме того, колеса должны отвечать требованиям норм ETRTO по форме и геометрическим размерам обода для монтажа на нем шины.

Использование колеса в качестве аксессуаров вторичного авторынка может привести к несоответствию колеса транспортному средству по

геометрическим характеристикам, нагрузке и др. Соблюдение всех условий, обуславливающих применимость колеса к транспортному средству, является основой его безопасной эксплуатации наряду с ударной и циклической прочностью. К числу таких требований относятся присоединительные размеры колеса, его типоразмер и максимальная вертикальная нагрузка на колесо со стороны транспортного средства.

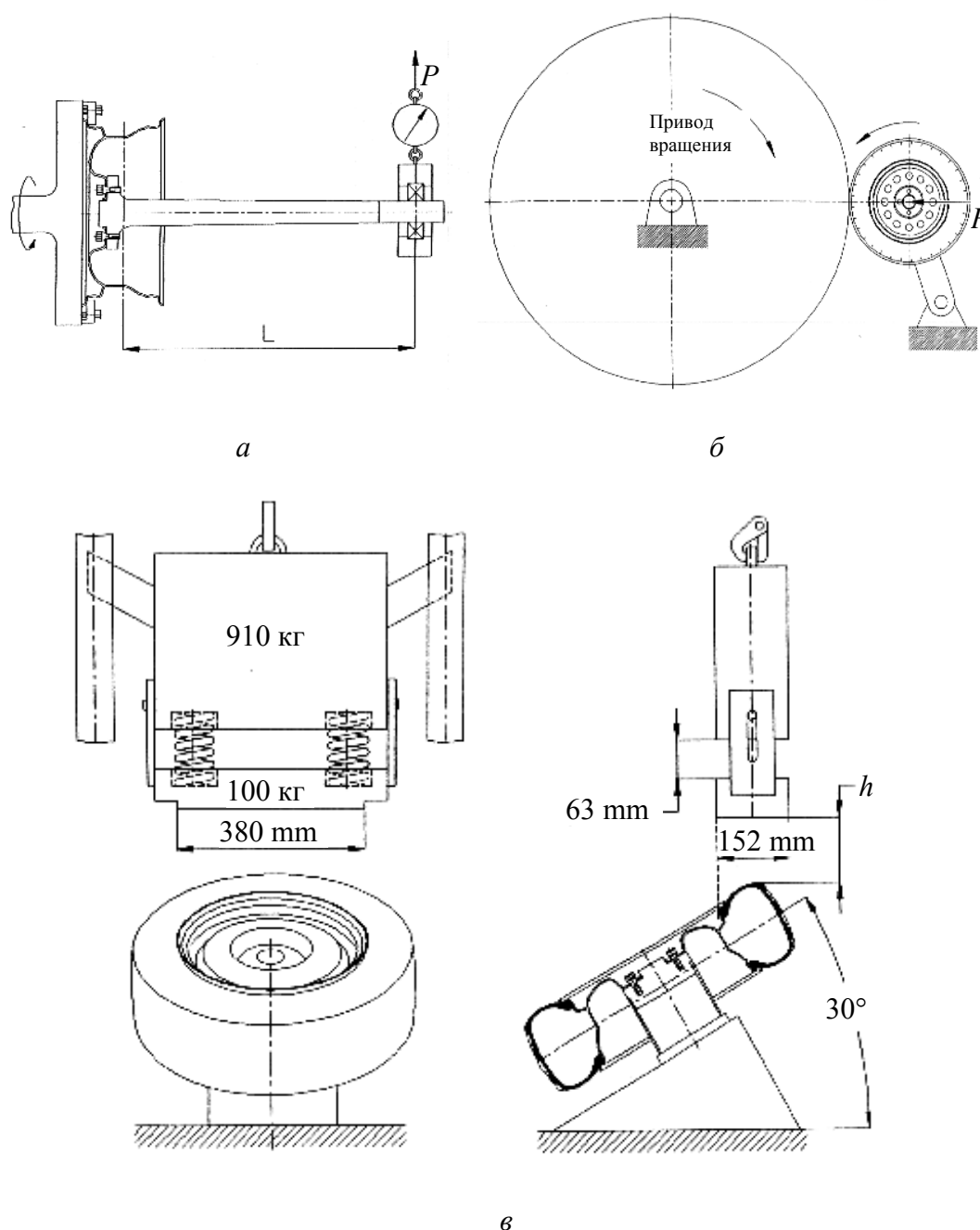


Рис. 4. Схемы испытания колеса при изгибе с вращением (а), при динамической радиальной нагрузке (б) и косом ударе (в)

Контроль за выполнением требований по применимости и несущей способности колес выполняют автозаводы по своим техническим условиям при допуске на сборочный конвейер и сертификационные испытательные центры при выпуске колес на рынок запасных частей и аксессуаров в соответствии со своими национальными нормативными документами.

Основные принципы обеспечения надежности колес транспортных средств следующие:

– удовлетворительная конструкция, тщательно отработанная в ходе соответствующих расчетов и испытаний с целью проверки надежности в условиях, моделирующих процесс эксплуатации;

– полное и ясное определение в технической документации требований к материалу и конструкции колеса, понятные всем, кто связан с его производством на всех этапах;

– проверка возможностей выполнения этих требований в производстве со стороны сертификационных органов;

– контроль соответствия колес требованиям технической документации, необходимой для обеспечения надежной защиты интересов потребителя и получения информации о случаях несоответствия изделия условиям эксплуатации;

– точные инструкции по применению колес.

Все эти положения очевидны. Тем не менее, опыт показывает, что в той или иной мере допускаются ошибки. Проведенные экспериментальные и расчетные работы призваны снизить риск появления колес транспортных средств без надлежащего уровня надежности и качества.

Список литературы

1. Раймпель И. Шасси автомобиля: Амортизаторы, шины и колеса. М.: Машиностроение, 1986. 320 с.

2. Демьянушко И.В., Батрак Н.И., Никитин С.В. Исследование напряженно-деформированного состояния автомобильного колеса при

прогнозировании его ресурса // Прочность и ресурс автомобильных и дорожных конструкций: сборник трудов МАДИ / под ред.

И.В. Демьянушко. М.: МАДИ, 1986.

3. Демьянушко И.В., Перекрестова В.В. Моделирование процесса ударного нагружения колес автомобиля // Методы и средства повышения надежности материалов и конструкций на автодорогах: сборник научных трудов МАДИ. М.: МАДИ, 1996.

4. Вахромеев А.М., Батрак Н.И. Методические особенности сертификационных испытаний на усталость колес легковых автомобилей // Журнал автомобильных инженеров. 2007. № 4 (45).

5. Вахромеев А.М. О сертификации колес автомобилей в России // Стандарты и качество. 1999. № 8.

References

1. Raympel I. *Shassi avtomobilya: Amortizatory, shiny i koleasa* (Chassis of a vehicle: Shock absorbers, tires and wheels), Moscow, Mashinostroenie, 1986, 320 p.

2. Dem'yanushko I.V., Batrak N.I., Nikitin S.V. *Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya avtomobil'nogo koleasa pri prognozirovanii ego resursa* (Issledovanie stress-strain state of automobile wheels in predicting his life), Prochnost' i resurs avtomobil'nyh i dorozhnyh konstrukcij: sbornik trudov MADI, Moscow, 1986.

3. Dem'yanushko I.V., Perekrestova V.V. *Modelirovanie processa udarnogo nagruzheniya koleas avtomobilya* (Modeling of shock loading wheels), Metody i sredstva povysheniya nadezhnosti materialov i konstrukcij na avtodorogah: sbornik nauchnyh trudov MADI, Moscow, 1996.

4. Vahromeev A.M., Batrak N.I. *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov*, 2007, № 4 (45).

5. Vahromeev A.M. *Standarty i kachestvo*, 1999, № 8.