

ДОРОЖНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НЕСУЩИХ СИСТЕМ И КОНСТРУКЦИЙ ШАССИ И ТРАНСМИССИЙ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

к.т.н. ¹Капуста П.П., ²Шпаковский И.Т., ²Ярошевич А.П.

¹УО «Белорусский национальный технический университет», Минск

²ОАО «Минский завод колёсных тягачей», Минск

Важным научным принципом ресурсного проектирования несущих систем, узлов и деталей мобильных машин является анализ нагруженности и определение опасных по усталости элементов [1...4]. Имитационная модель проектируемого автотранспортного средства (АТС), рассматривается как сложная механическая несущая система взаимосвязанных и взаимозависимых подсистем (рамные конструкции, мосты, оси, рессоры и т.п.), состоящих из крупных (детали), средних (наиболее нагруженные зоны, в т.ч. - вблизи концентраторов механических напряжений) и малых ("точки" концентрации максимальных разрушающих напряжений) элементов [5...6]. Подсистемы (узлы, сборочные единицы) состоят из крупных элементов (например: для рамы – лонжероны, поперечины и т.д.; для оси – основная трубная деталь, полуоси, тормозные кронштейны-муфты и т.д.). При их моделировании исследуются значимость различных конструктивных факторов и сборочных операций на этапах динамического системного анализа всей машины и численного анализа ее отдельных конструкций. Крупные, средние и малые элементы по предложенной классификации состоят из большого количества конечных элементов различной формы и размеров, зависящих от степени геометрической сложности рассматриваемой конструкции. Количество степеней свободы любого элемента определяется комбинацией внутренних степеней свободы и степеней свободы от закрепления. На начальной стадии исследования модели машины все внутренние силы приравниваются к нулю, т.е. – крупные элементы (кроме специальных устройств демпфирования колебаний: шины, рессоры и т.п.) принимаются абсолютно жесткими. Если, в результате сравнительного системного комплексного динамического и численного анализа установлено, что жесткие составляющие элементы системы подвергаются относительно большим деформациям и значимо влияют на конечный результат оценки нагруженности, то их заменяют гибкими телами, учитывая в последующих вариантах расчета динамические матрицы жесткости последних.

На основании системного анализа нагруженности и характеристик сопротивления усталости опасных элементов, прогнозируется ресурс несущих конструкций грузовых автомобилей с учетом многочастотности и многорежимности нагружения [7, 8].

Практическим этапом в системе комплексного обеспечения надежности несущих систем, конструкций шасси и трансмиссий грузовых автомобилей являются дорожные испытания [9, 10], а получаемая экспериментальная информация о нагруженности и эксплуатационных разрушениях – обеспечивает верификацию имитационных моделей и ресурсного проектирования [11].

В последние годы проведен ряд совместных БНТУ и МЗКТ научно-исследовательских работ, результаты которых легли в основу организации в исследовательском центре МЗКТ филиала кафедры "Детали машин, ПТМ и М" БНТУ "Механика и надежность машин". В рамках сотрудничества начата целевая подготовка аспирантов и магистрантов.

Исследовательский центр является самостоятельным структурным подразделением, входящим в состав ОАО «МЗКТ» и создан на основании приказа директора № 230 от 12 мая 1995 года. Исследовательский центр аккредитован в Системе аккредитации

испытательных и калибровочных лабораторий Республики Беларусь на техническую компетентность и независимость при проведении испытаний в соответствии с областью аккредитации.

Исследовательский центр проводит следующие виды испытаний:

- исследовательские, доводочные и предварительные испытания (испытания опытных образцов механических транспортных средств, прицепов к ним и их составных частей);

- приемочные, ресурсные и эксплуатационные испытания;

- сертификационные испытания продукции в соответствии с областью аккредитации;

- инспекционные и контрольные испытания сертифицируемой продукции;

- испытания опытных агрегатов, узлов и деталей;

- испытания продукции сторонних предприятий и организаций в соответствии с областью аккредитации. Тематика проводимых испытаний распространяется практически на все технические характеристики автомобилей и прицепов, включая эргономику, надежность, топливную экономичность, тормозные свойства, тягово-скоростные свойства и др.

Испытания проводятся в соответствии с требованиями методических и нормативных документов ИСО/МЭК, национального органа по сертификации Республики Беларусь (Госстандарта), действующих стандартов, а также других нормативных документов, устанавливающих требования по обеспечению качества продукции, безопасности труда, охраны окружающей среды и здоровья людей. В своей деятельности руководствуется требованиями действующих законодательных и руководящих документов, издаваемых правительством Республики Беларусь, Уставом ОАО «МЗКТ». В исследовательском центре функционирует система менеджмента качества, обеспечивающая достоверность и объективность результатов испытаний. Документация на процедуры системы менеджмента качества включена в Руководство по качеству, разработанное в соответствии с требованиями СТБ ИСО/МЭК 17025-2007 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

Основными задачами ИЦ являются:

- проведение испытаний опытных образцов новых или модернизированных механических транспортных средств, а также испытания серийной продукции ОАО «МЗКТ»;

- внедрение современных методов испытаний;

- доводка перспективных конструкторских разработок;

- оценка функциональной работоспособности новых систем, агрегатов и узлов;

- анализ выявленных несоответствий продукции и выдача рекомендаций по их предупреждению, повышению долговечности, ресурса и надежности конструкции, качества и конкурентоспособности продукции ОАО «МЗКТ».

В исследовательском центре МЗКТ для определения нагруженности и прочностных характеристик конструкций автомобилей используется измерительно-преобразующая система на базе MGCplus немецкой компании НВМ (рисунок 1).

Она позволяет проводить многоканальные измерения электрических и физических параметров (в зависимости от подключенных датчиков), автоматизацию процессов сбора данных в цифровом виде, создание базы данных, оперативный анализ полученных результатов и оценку прочностных и усталостных характеристик узлов и деталей большегрузных автомобилей при испытании в различных дорожных условиях.

К основным достоинствам MGCplus следует отнести: модульную архитектуру; возможность подключения всех известных типов датчиков; точные, параллельные, высокоскоростные цифровые измерения вместе с универсальным аналоговым выходом; удобство и простота процесса сбора и хранения данных.

Типы подключаемых датчиков: тензорезистивные; индуктивные; потенциометрические; термопары; терморезисторы; источники тока и напряжения.

Сложность геометрических форм рам, кузовов и кабин, многообразие условий их нагружения при эксплуатации автомобиля в различных дорожных условиях затрудняют расчет конструкций. Поэтому необходимо проведение комплекса специальных испытаний. Испытания на прочность несущих систем и конструкций шасси и трансмиссий автомобилей проводят на стендах статического и динамического нагружения, а также в дорожных условиях (рисунок 2).

Автомобильные рамы и несущие кузова подвергают дорожным испытаниям для определения их прочности и жесткостных характеристик в условиях комплексного воздействия изгибающих нагрузок и крутящих моментов, обусловленных профилем.



Рис. 1. Измерительный комплекс MGCplus

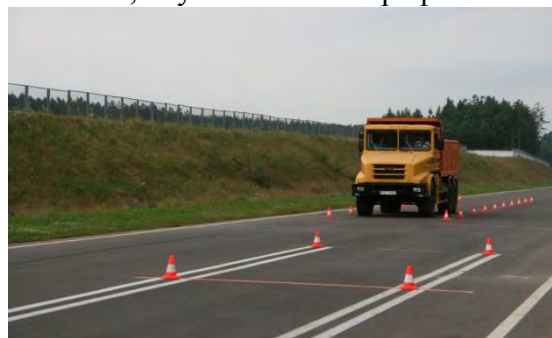


Рис. 2. Проведение испытаний автомобиля на Республиканском полигоне

Значительно ускоряется процесс испытаний при применении дороги с искусственными неровностями трапецевидного профиля, которые расположены на полотне дороги в шахматном порядке, с расстоянием между ближайшими неровностями по длине колеи, равным базе автомобиля. При такой схеме расположения неровностей в раме или кузове автомобиля возникают наибольшие нагрузки, и следовательно, в максимальной степени ускоряются испытания, хотя скорость приложения нагрузок является небольшой, так как скорость движения автомобиля по таким неровностям мала. На дороге со сменными препятствиями эффективно могут испытываться также оперение, кузова, кабины автомобилей, детали их крепления к раме и другие узлы.

Режимы нагружения элементов несущей системы в основном определяет конфигурация неровностей, а также скорость движения автомобиля. Размеры и форму неровностей и режимы движения выбирают при предварительных режимометрических испытаниях, которые заключаются в определении уровня напряжений в характерных точках рамы или несущего кузова при движении автомобиля в типичных условиях эксплуатации, включая самые тяжелые. Запись напряжений проводят обычно с помощью тензодатчиков (рисунок 3), сигналы от которых подаются к MGCplus.

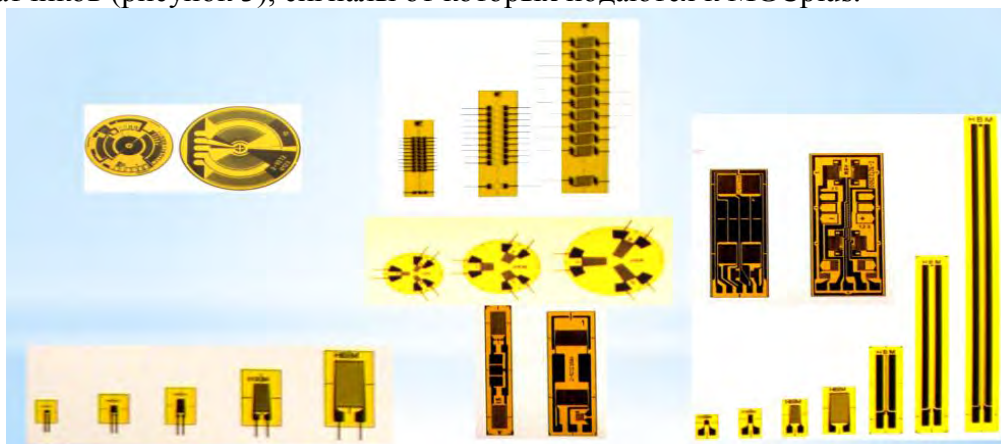


Рис. 3. Тензодатчики

Испытания в дорожных условиях проводят на одном полностью комплектном автомобиле или на нескольких его образцах. Испытания кузовов и кабин на надежность, долговечность в условиях эксплуатации характеризуются переменной нагрузкой, действующей на кузов автомобиля, влиянием коррозии на детали и другими факторами. Величина пробега автомобиля при эксплуатационных испытаниях должна быть максимально возможной. По окончании испытаний проводят обследование несущей системы и делают заключение о ее техническом состоянии.

Одним из видов исследований в дорожных испытаниях кузовов и кабин является определение реальных нагрузочных режимов. Оценивать нагруженность несущей системы в целом и отдельных ее элементов можно различными способами. Наиболее часто измеряют динамические напряжения в различных точках конструкции с помощью тензорезисторов (рисунок 4).



Рис. 4. Установка тензорезисторов на раме автомобиля

Иногда в качестве характеристик нагруженности системы (например, рамы) используют статистические данные об углах закручивания конструкции или скручивающем ее моменте при движении автомобиля в различных дорожных условиях с переменной скоростью. Для этого применяют как специальные преобразователи углов закручивания, так и ориентированные системы тензорезисторов. Например, при исследовании нагрузочных режимов кузовов автомобилей применяют хорошо работающую систему, состоящую из восьми тензорезисторов, наклеенных под углом 45° к продольной оси лонжеронов подmotorной рамы попарно на боковых полках лонжеронов и соединенных в измерительный полумост. Эта система передает электрический сигнал, пропорциональный действующему на кузов скручивающему моменту.

Универсальными показателями нагруженности несущей системы являются ее ускорения, причем оценивать нагруженность можно одновременно в вертикальном, продольном и поперечном направлениях. Преобразователи ускорений размещаются на подпрессоренной части над мостами автомобиля.

Для более полного анализа нагрузочных режимов кузова (рамы) получают данные о вертикальных динамических усилиях, действующих со стороны подвески, установкой между кузовом и подвеской силоизмерительных устройств.

Показатели надежности, долговечности определяют в дорожных и стендовых испытаниях, а более точные получают в обычных эксплуатационных условиях (длительность таких испытаний чрезвычайно велика). Для сокращения сроков получения этих показателей в настоящее время широко используют ускоренные дорожные и стендовые испытания. В ускоренных испытаниях выбирают такие нагрузочные режимы работы испытываемых агрегатов, узлов и деталей, при которых возникают значительно большие нагрузки, чем те, которые имеют место в обычных условиях эксплуатации.

Ускоряют дорожные испытания автомобилей как использованием дорог с неровным покрытием (для подвески и ходовой части), так и применением регламентирован-

ных режимов движения с частыми остановками и переключениями передач (для испытания узлов трансмиссии). Для испытания уплотнений автомобильных узлов могут быть использованы пыльные и грязные дороги.

Ускоренные дорожные испытания, как правило, проводят на специальных дорогах автополигонов, однако в отдельных случаях - на дорогах общего пользования (грунтовых, с булыжным покрытием и т. д.) по специально составленным программам.

При проведении ускоренных дорожных и стендовых испытаний следует учитывать, что при чрезмерном сокращении сроков могут появиться нехарактерные для эксплуатации виды износа и поломки деталей. Поэтому при проектировании испытательных стендов, при разработке методов и программ необходимо учитывать нагрузочные режимы автомобильных узлов в реальных условиях.

Информацию об эксплуатационной надежности получают при изучении рекламаций, поступающих от владельцев в течение гарантийного пробега их автомобилей, и регулярном анализе работы автомобилей на предприятиях.

В случае проведения ресурсных и длительных контрольных испытаний (ДКИ) на дорогах общего пользования ставится задача определения надежности, долговечности автомобилей в определенных эксплуатационных условиях. Эти испытания проводят самостоятельно или как первый этап ресурсных испытаний.

При ресурсных и длительных контрольных испытаниях автомобилей с балластом (до номинальной грузоподъемности) должны быть установлены общая длина пробега и распределение пробегов по отдельным видам дорог, которое регламентируется стандартами и типовыми программами соответствующих видов испытаний.

При ресурсных испытаниях периодически, через заданный программой пробег, проводят циклы лабораторных и пробеговых испытаний (с применением средств технической диагностики), в которых определяют показатели основных эксплуатационных качеств автомобилей (тягово-скоростные, тормозные, топливную экономичность, токсичность отработавших газов и т. д.).

После окончания длительных контрольных и ресурсных испытаний определяют техническое состояние автомобиля, разбирают его основные агрегаты и микрометрируют изношенные детали. Дефектные детали подвергают металлографическим исследованиям и производят химический анализ материала.

При составлении программ ускоренных дорожных испытаний необходимо учитывать, что каждый автомобильный узел имеет свои характерные режимы работы, при которых происходят наибольшие повреждения. Например, для подвески и ходовой части автомобиля наиболее опасно движение по неровной дороге, для трансмиссии повреждения чаще возникают на переходных режимах, связанных с включением сцепления, для рулевого управления наиболее опасно движение по неровным и извилистым дорогам, а тормоза интенсивнее изнашиваются при движении по улицам городов и горным дорогам.

Достоинством полигонных испытаний является стабильность дорожных условий при наличии лабораторно-производственной базы, находящейся вблизи испытательных дорог. Ускоренные полигонные испытания проводят по самостоятельным программам или их включают в программу ДКИ и ресурсных испытаний. При полигонных испытаниях на одном маршруте обеспечить оптимальную программу для всех узлов автомобиля одновременно практически невозможно, поэтому проводят испытания каждого узла отдельно. На автополигонах имеются разработанные маршруты для испытаний большинства узлов автомобиля: подвески и ходовой части, трансмиссии, тормозов и тд.

Ускоренные стендовые испытания позволяют с минимальными затратами времени и средств получить данные о долговечности узлов и деталей вновь создаваемого или модернизируемого автомобиля. Стенд должен позволять с наибольшей точностью и

стабильностью воспроизводить нагрузочные режимы испытываемой детали или узла, заданные программой.

Ускорить испытания можно следующими способами: интенсификацией режимов нагружения; увеличением числа нагружений в единицу времени; усилением воздействия окружающей среды (повышение температуры, влажности, агрессивности и т. д.); применением искусственно созданной абразивной среды и т. д. При испытаниях на износ деталей автомобиля сократить время и объем можно, выявив зависимость износа от времени или величины пробега. Для этого используют методы взвешивания, вырезания лунок или применяют радиоактивные изотопы.

При разработке методов ускоренных испытаний необходимо правильно выбрать режим, обеспечивающий максимально возможное сокращение времени при сохранении идентичности разрушений в стендовых испытаниях и в эксплуатационных условиях

При стендовых испытаниях на долговечность применяют три вида программ нагружения: постоянной нагрузкой (циклической нагрузкой с постоянной амплитудой или постоянным крутящим моментом при испытании трансмиссионных узлов); переменной ступенчатой нагрузкой (циклической нагрузкой со ступенчато-изменяющейся амплитудой или переменным ступенчато-изменяющимся крутящим моментом при испытании трансмиссионных узлов); нагрузкой, изменяющейся по случайному закону, наиболее полно имитирующей эксплуатационный нагрузочный режим.

При форсированных стендовых испытаниях на долговечность все больше внимания уделяют последовательности приложения нагрузок, так как многочисленными исследованиями установлено, что усталостная долговечность деталей зависит не только от амплитуд нагрузок но и от последовательности их действия. При ступенчатой программе может быть принят заранее установленный порядок чередования нагрузок. Наименьшее влияние последовательности приложения нагрузок может быть достигнуто при нагружении по действительному или по моделированному случайным процессам, статистические характеристики которых согласуются. Последовательность изменения нагрузок выбирают также при форсированных дорожных и полигонных испытаниях.

В случае дорожных испытаний определяют обычно долговечность нескольких узлов автомобиля одновременно, а при стендовых, как правило, - долговечность одного узла или даже одной детали, что позволяет в каждом конкретном случае подобрать оптимальную программу нагружения как по уровням нагрузок, так и по последовательности их приложения.

Проведение дорожных испытаний автомобилей особенно эффективно на специальных полигонах, на специальных дорогах которых можно направленно форсировать нагружения несущих систем (рисунок 5). В результате требуемый для проведения полного цикла испытаний на долговечность пробег автомобиля сокращается более чем в 10 раз.

В испытаниях автомобилей на полигонах не ограничиваются определением усталостной прочности. На специальных участках с грязевыми и водяными ваннами, пылевыми камерами проверяют герметичность кузова, надежность работы уплотнителей оконных и дверных проемов, защищенность основных узлов автомобиля от попадания пыли, грязи и влаги.

Проведение дорожных испытаний позволяет выявлять слабые места, допущенные на стадиях проектирования и изготовления деталей и узлов автомобилей. При обнаружении дефекта исследуется причина его появления и корректируется конструкторская документация.

Основной задачей дорожных испытаний несущих систем, конструкций шасси и трансмиссий автомобилей МЗКТ стоит создание систем данных о нагруженности узлов и деталей автомобилей, которые позволяет определять прочностные характеристики

элементов автомобиля при помощи виртуального моделирования или проведения ускоренных стендовых испытаний, без изготовления автомобиля и проведения дорогостоящих дорожных испытаний (например, разрешение на проезд некоторых автомобилей МЗКТ полной массой по дорогам общего пользования на расстояние 100 км достигает 1 000 €, расходы топлива по полигону до 500 л на 100 км при полном цикле испытаний автомобиля 100 000 км).



Рис. 5. Проведение испытаний автомобиля на полигоне заказчика

Для создания виртуальной модели автомобилей: проводятся натурные испытания многоосных большегрузных автомобилей и стендовые испытания их основных сборочных единиц на прочность и вибронгруженность с целью идентификации параметров; определяются граничные условия (величины внешних нагрузок, перемещений, скоростей, ускорений, амплитудно–частотные и переходные функции, а также характер их изменения во времени).

В качестве примеров приведены экспериментальные зависимости процесса изменения крутящего момента в элементах трансмиссии автомобиля-самосвала при развороте вправо на грунте с разблокированными дифференциалами (рисунок 6).

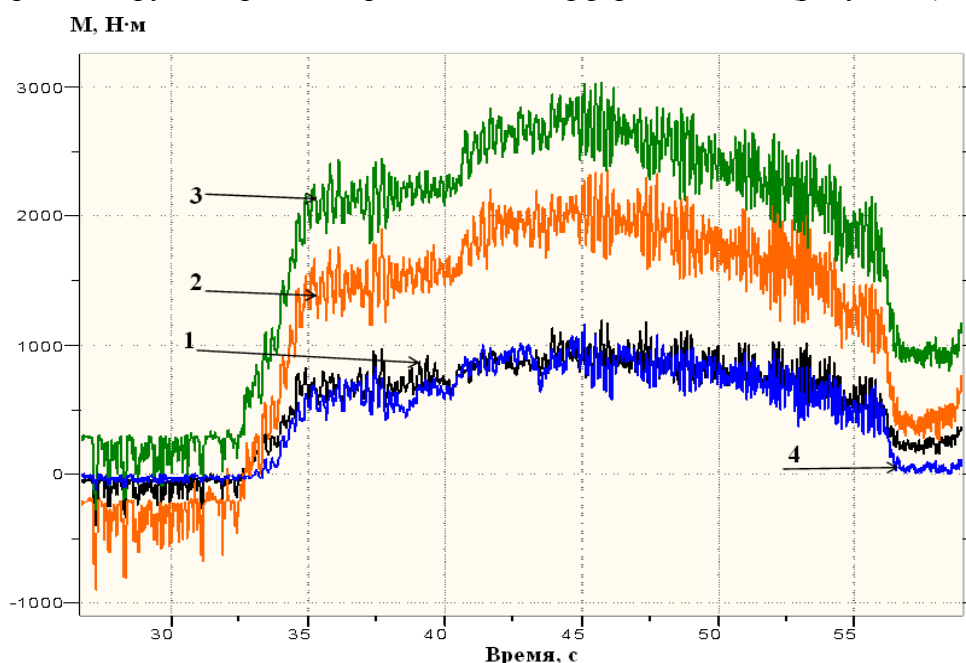


Рис. 6. Процесс изменения крутящего момента в элементах трансмиссии автомобиля-самосвала при развороте вправо на грунте, дифференциалы разблокированы: 1 – привод первого моста, 2 – привод передней тележки, 3 – привод задней тележки, 4 – привод четвертого моста

Использование баз данных информационных систем позволит сократить сроки проектирования и постановки на производство узлов и деталей новой техники МЗКТ за

счет сокращения сроков проведения трудоемких и дорогостоящих прочностных и усталостных испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капуста П.П. Надежность и ресурсное проектирование несущих систем и элементов машин // *Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование, технология изготовления. Сборник научных трудов. Вып. 1. В 3-х томах. – Т. 1 / Под общ. ред. П.А. Витязя. – Минск: УП «Технопринт», 2002., С. 97 – 108.*
2. Капуста П. П. Вероятностная оценка характеристик сопротивления усталости деталей на стадии проектирования машин. – Минск.: УП “Технопринт”, 2001. – 97 с.
3. Почтенный Е.К. Суммирование усталостных повреждений при реальном многорежимном нагружении / Е.К. Почтенный, П.П. Капуста/ Сб. докл. Международной научно-технической конференции “Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкций” / Отв. ред. В.Т. Троценко: В 2 томах. – Киев, 2000. – Т. 1. – С. 195–196.
4. Капуста П.П. Методика оценки нерегулярной нагруженности деталей и конструкций машин // *Вестник машиностроения. – 2005. -№6. – С. 13-18.*
5. Капуста П.П. Моделирование микропрофиля дороги для имитационной оценки нагруженности несущих систем мобильных транспортных машин // *Трибофатика: Сборник докладов V Международного симпозиума по трибофатике ISTF – 2005., В 3-х томах: 3 – 7 октября 2005 г. – Иркутск: ИрГУПС, 2005. - Т. 3. - С. 180 - 194.*
6. Капуста П.П. Математическая модель как инструмент ресурсного проектирования автотранспортных средств // *Автомобильная промышленность. –2001. - № 11. - С. 15-18.*
6. Капуста П.П. Компьютерный полигон для оценки нагруженности конструкций автотранспортных средств / *Автомобильная промышленность. – 2006. - № 1. - С. 34-36.*
7. Почтенный Е.К. Ресурс несущих конструкций грузовых автомобилей с учетом многочасотности и многорежимности нагружения / Е.К. Почтенный, П.П. Капуста / *Грузовик. – 2006. - № 1. - С. 31-38.*
8. Капуста П.П. Система экспериментальной оценки нагруженности и сопротивления усталости несущих конструкций и материалов грузовых автомобилей при дорожных и стендовых испытаниях / П.П. Капуста, И.А. Слабко / *Грузовик. – 2007, № 8. – С. 10-19.*
9. Капуста П.П. Экспериментальные исследования сопротивления усталости и разработка новой сборной конструкции рамы двухосного магистрального автомобиля-тягача с повышенным ресурсом / П.П. Капуста, А.И. Верес, И.А. Слабко / *Грузовик. – 2011, № 5. – С. 2, 3, 40-44.*
10. Капуста П.П. Принципы обеспечения надежности и ресурсного проектирования несущих систем мобильных машин // *Грузовик. – 2013, № 3. – С. 2, 3, 40-44.*

E-mail: kapusta@bntu.by
v_nikolaenko57@mail.ru
aryumv@mail.ru

Поступила в редакцию 21.07.2016