

1980. 480 с.; 3. Бабаков И.М. Теория колебаний. М.: Наука, 1968. 560 с.; 4. Журавков М.А. Математическое моделирование деформационных процессов в твердых деформируемых средах. Минск: БГУ, 2002. 456 с.; 5. Громыко О.В. Расчет регулярных ферменных конструкций по континуальной схеме. Минск: БГУ, 2004. 192 с.

УДК 620.178

П.П. Капуста, И.А. Слабко, Д.В. Вихренко

## МЕТОДИКА РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

*Белорусский национальный технический университет,  
Минский автомобильный завод  
г. Минск, Беларусь*

Методика включает методы ускоренных испытаний и прогнозирующего расчета эксплуатационного ресурса. Метод ускоренных испытаний конструкций и их материалов при регулярном нагружении включает нагружение нагрузочным блоком с постоянными амплитудой или значениями максимального или максимального и минимального напряжений (их размаха). Натурным стендовым испытаниям конструкций предшествуют ряд предварительных мероприятий: регистрация нагруженности при типовых для данной машины режимах эксплуатации (экспериментальная в напряжениях в опасных с точки зрения усталости зонах или расчетная в силах или/и перемещениях, как функциях реального времени эксплуатации в местах сопряжения рассматриваемой конструкции с другими несущими элементами); расчет их статического и динамического напряженно-деформированного состояния (НДС) с использованием системного подхода к нагруженности (например, методом конечных элементов); схематизация спектров нагружающих напряжений и приведение асимметричных циклов к симметричным или отнулевым в зависимости от характерных условий эксплуатационной нагруженности конструкции; выбор напряжений стендового регулярного нагружения по характерным зонам (“точкам”); установка конструкции на испытательный стенд и синхронизация сложного нагружения характерных зон по величине НДС в напряжениях и нагрузках от сервоцилиндров (например, методом тензометрирования). По выполнении указанных подготовительных процедур проводят ускоренные стендовые испытания конструкций с регистрацией момента зарождения и кинетики развития трещин (например, с использованием магнитной дефектоскопии). При испытаниях сложных и дорогостоящих конструкций (рам, корпусов и т. д.) испытания проводят до потери ее эксплуатационной жесткости, а объектом анализа результатов испытаний является весь полученный комплекс усталостных разрушений (ориентации, характера и фрактографии трещин, ресурса до их появления, влияние концентраторов, упрочняющих и других технологических факторов и т. д.). После окончания и анализа результатов стендовых испытаний конструкции, в зависимости от ее сложности и требуемой точности прогнозирования ресурса проводят экспериментальное или расчетное определение характеристик сопротивления усталости опасных сечений (на локальных моделях) или зон (на образцах, образцах-“вырезках” или локальных элементах-“вырезках”). Дан метод определения ориентации и режимов нагружения локальных моделей, образцов, образцов-“вырезок” или локальных элементов-“вырезок”. Методологическая основа разработанной методики ускоренных испытаний

при регулярном нагружении заключается в ранее предложенной связи между долговечностями при регулярном стендовом и нерегулярном эксплуатационном нагружении конструкции. На результатах испытаний рамных конструкций АТС показано, что испытания при регулярном нагружении ускоряют процесс накопления усталости в 100 – 300 и более раз по сравнению с эксплуатационными натурными испытаниями при нерегулярном нагружении (в зависимости от степени тяжести нагружения), что особенно важно для стадии проектной прочностной доводки. Усталостный ресурс для заданной вероятности неразрушения несущих конструкций по опасным элементам и зонам рассчитывается с учетом суммирования повреждений в процессе снижения предела выносливости и статистического влияния условий эксплуатации и многочастотности реальных нагрузочных спектров.

Разработанная методика использована при проведении стендовых испытаний и для расчетно-экспериментальной оценки эксплуатационного ресурса рамы автомобиля-тягача, перспективных типажа осей и элементов подвесок прицепного состава Минского автозавода.

*Исследования по оценке сопротивления усталости рамы двухосного автомобиля-тягача, предназначенного для работы в составе магистрального длиннобазного автопоезда с трехосным полуприцепом.* Объект испытаний: рама лестничного типа клепаная, состоящая из двух штампованных лонжеронов швеллерного переменного по длине сечения, соединенных между собой четырьмя основными и пятой вспомогательной поперечинами, а также с установленной опорной площадкой под седельное устройство.

Методика исследований включала следующие основные этапы: выбор дорожных и маневровых условий, нагрузочных и скоростных параметров испытаний нагруженности; экспериментальная статическая и динамическая оценка нагруженности методом электротензометрии; обработка экспериментальных нагрузочных реализаций, включающая определение спектральных плотностей, схематизацию методами падающего дождя или с учетом многочастотности нагружения, определение максимальных напряжений на всех исследуемых нагрузочных режимах, анализ экспериментальной нагруженности и выделение наиболее повреждающих режимов, определение максимальных напряжений в нагрузочных спектрах и в нагрузочных блоках, аппроксимированных с использованием распределения Вейбулла по предложенной ранее методике; расчетная оценка статического НДС рамы с использованием метода конечных элементов (МКЭ); стендовые ускоренные испытания рамы при регулярном нагружении на изгиб с кручением путем воспроизведения в наклеенных на раму тензодатчиках максимальных и минимальных напряжений (их размаха), взятых на основании анализа нагрузочных спектров дорожных натурных испытаний (циклические испытания проводились до появления макротрещин с последующей регистрацией кинетики их развития по числу циклов нагружения; при этом проводился текущий контроль за состоянием НДС рамы по показаниям тензорезисторов, а в случае достижения трещиной размеров, существенно влияющих на НДС, трещина укреплялась специальными накладными шинами с помощью групповых болтовых беззачорных соединений и испытания продолжались); полученные экспериментальные долговечности различных зон рамы при регулярном стендовом нагружении, использовались для проектной оценки их ресурса при различных режимах нерегулярного эксплуатационного нагружения на основании предложенных ранее критерия нагруженности и его связи с относительной долговечностью при регулярном и нерегулярном нагружении.

На рис. 1. показана схема управления стендом для испытания рам автомобилей Минского автомобильного завода.

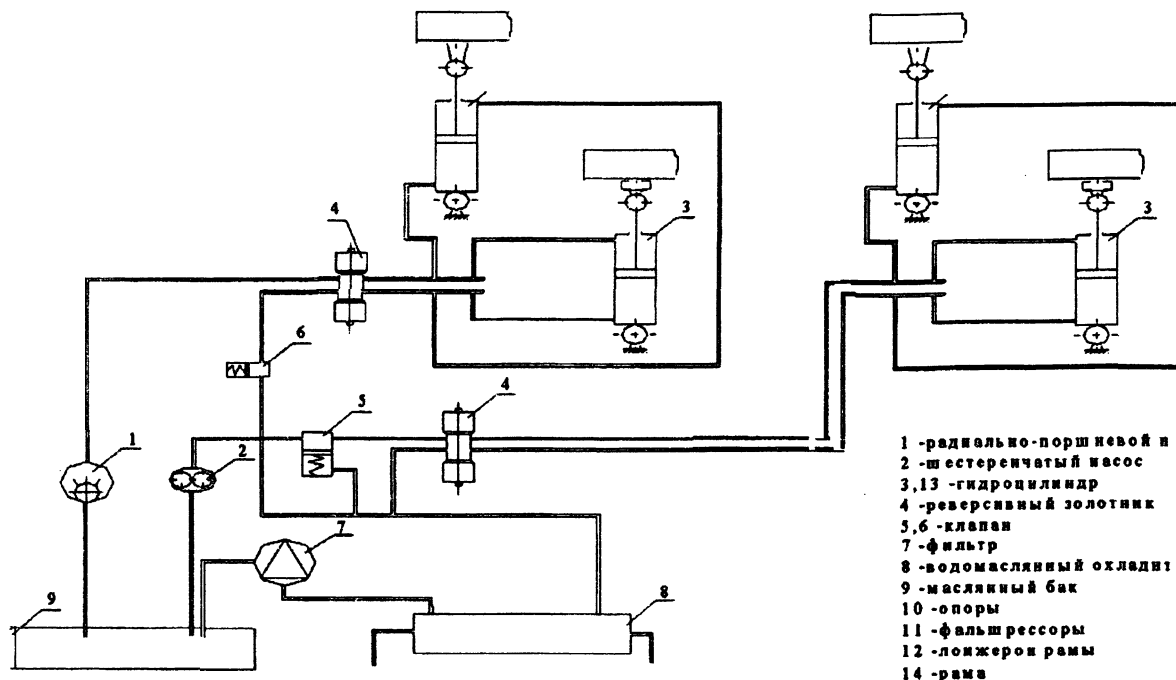


Рис. 1. Схема управления стенда испытания рам

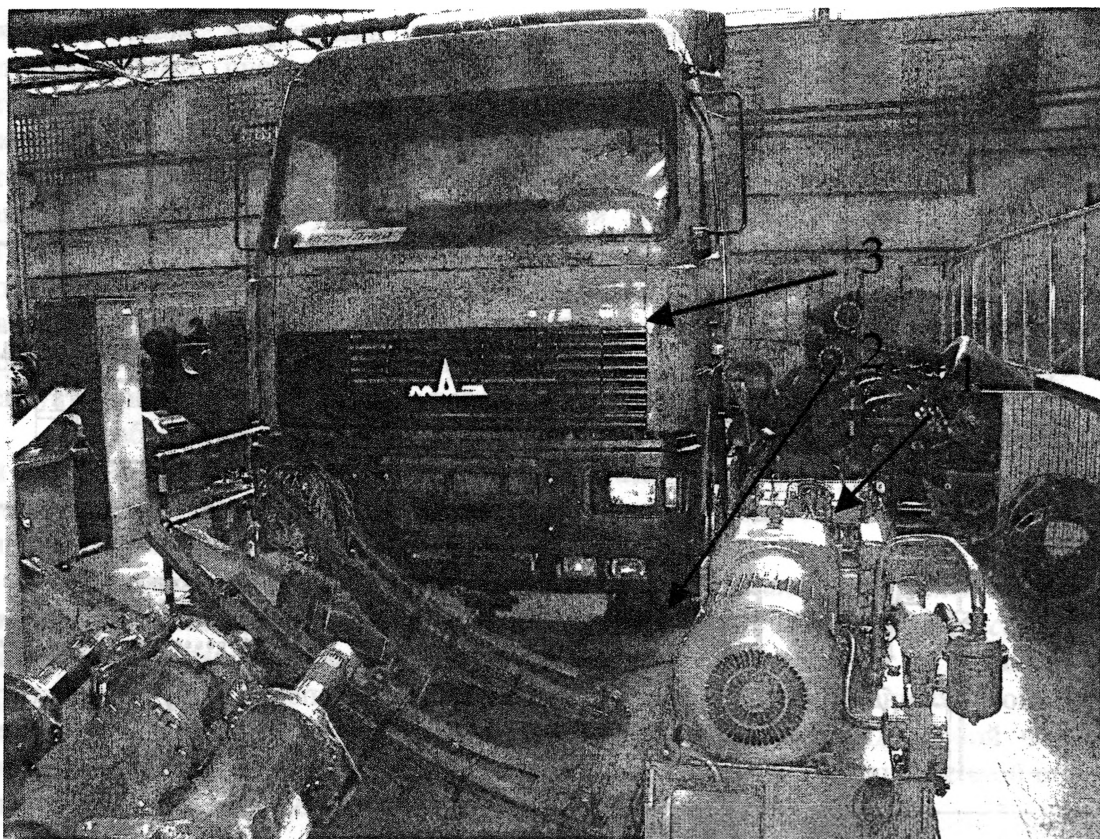
На рис. 2. приведен общий вид установки стенда имитатора трека.

Анализ результатов показал, что трещины при дорожных испытаниях и при стендовых начинаются в одной точке – нижнего болтового крепления кронштейна подвески. Однако направление распространения различается для обоих вариантов. Связано это с тем, что стендовый вариант имеет уже модифицированный кронштейн. Модификация заключается в разнесении привалочной поверхности и увеличении количества точек крепления, что, в свою очередь, ведет к изменению жесткости данной зоны рамы.

Подбор режима стендовых испытаний осуществлялся путем сравнения напряженного состояния рамы автомобиля на стенде при различных углах закручивания и скорости закручивания с напряжениями на раме при движении по наиболее характерным режимами эксплуатационного нагружения с учетом форсирования.

**Заключение.** В результате проведенных исследований получены следующие результаты, предлагаемые для использования при проектировании клепаных рам автомобиля-тягача типа МАЗ 5440, включая его последующие модификации.

Предложена методика комплексных испытаний рамных конструкций автотранспортных средств МАЗ, включающая методы ускоренных испытаний и прогнозирующего расчета эксплуатационного ресурса. Метод ускоренных испытаний конструкций и их материалов при регулярном нагружении включает нагружение нагрузочным блоком с постоянными амплитудой или значениями максимального или максимального и минимального напряжений (их размаха).



- 1- насосная станция;
- 2- площадка нагружения;
- 3- объект испытаний.

Рис. 2. Общий вид установки стенда имитатора трека

Разработанную методику рекомендуется использовать при проведении стендовых испытаний и для расчетно-экспериментальной оценки эксплуатационного ресурса рамы автомобиля-тягача; перспективных рамных конструкций, типажа осей и элементов подвесок.

УДК 620.178

П.П. Капуста, И.А. Слабко, А.В. Рубцов

### СИСТЕМНАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МАГИСТРАЛЬНОГО АВТОПОЕЗДА

*Белорусский национальный технический университет,  
Минский автомобильный завод  
г. Минск, Беларусь*

**Введение.** Работоспособность автомобиля, его ресурс определяется долговечностью и надежностью его несущей системы, состоящей из несущих подсистем - рам, несущих конструкций мостов, осей, несущих элементов подвесок и т.д. Очевидно, что правильная оценка нагруженности автомобильных конструкций возможна лишь в составе автомобиля и в соответствующих условиях эксплуатации.