

- 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.

Имея в наличии такие сведения о нагруженности, возможно назначение реальных режимов ускоренных стендовых испытаний и разработка адекватных имитационных (компьютерных) моделей всех несущих систем и автомобиля в целом.

В рамках научно-технического сотрудничества между Белорусским национальным техническим университетом и Минским автомобильным заводом проводятся исследования по созданию методов расчетного прогнозирования нагруженности и ресурса несущих систем автотранспортных средств завода на примере магистрального автопоезда в составе тягача МАЗ-544008 и полуприцепа МАЗ-97583. С целью получения объективной информации для проверки теоретических положений и результатов математического моделирования нагруженности несущих систем автопоезда проведена их системная экспериментальная оценка в составе магистрального автопоезда типа МАЗ-5440+МАЗ-9758, который зарекомендовал себя достаточно высокой надежностью в эксплуатации.

**1. Объект испытаний.** Исследованиям, также подвергался автопоезд в составе автомобильного трехосного полуприцепа МАЗ-97583 (шасси Y3M9758020000003) и тягача МАЗ-544008 (шасси Y3M544008Y0000033).

Рама полуприцепа сварная, лонжероны двутаврового сечения, верхняя полка состоит из трех частей, нижняя из двух. Полки выполнены из полосы 12x120, а в зоне перегиба из полосы 16x150 мм. Стенка лонжерона состоит из двух частей с толщиной 8 мм в передней части и 5 мм в задней части. Для усиления шкворневой зоны использованы уголки. Передняя плита наката изготовлена из листа металла толщиной 5 мм гнутого сечения, приварена из листа металла 10 мм и приварена к стенкам лонжеронов. Боковая балка рамы толщиной 4 мм из спецпрофиля, на верхней полке ее приварены кольца для увязки груза.

Балка оси трубы с уменьшенной толщиной стенки (труба 140x16 мм). Уменьшен размер между подшипниками ступиц и применены колесные тормозные механизмы 410x180 мм с двухопорным для осей тормозных колодок суппортом.

Платформа – оригинальная тентовая надстройка с боковой складывающейся стойкой, обеспечивающей боковую загрузку полуприцепа без демонтажа крыши. Настил пола платформы из панелей фанеры ламинированной с двух сторон 2440x1200x27 мм.

**2. Методика дорожных испытаний.** Напряжённое состояние рам, осей, опор и других несущих конструкций оценивалось методами электротензометрирования с наклеиванием в точках, предположительно опасных с точки зрения прочности и долговечности тензорезисторов (рисунки 1 и 2). Для определения опасных зон использовались данные расчетов методом конечных элементов (в данной работе результаты не приведены). Для оценки нагруженности датчики наклеивались на: раме тягача – 26 шт. (№1-26 – Рис. 1); раме полуприцепа – 33 шт. (№27-43, 46-49, 52, 53, 56-65 – Рис. 2); оси полуприцепа – 3 шт. (№ 44,50 и 54 – Рис. 2); опоре подвески (полурессоре) прицепа – 3 шт. (№45,51 и 55 – Рис. 2).

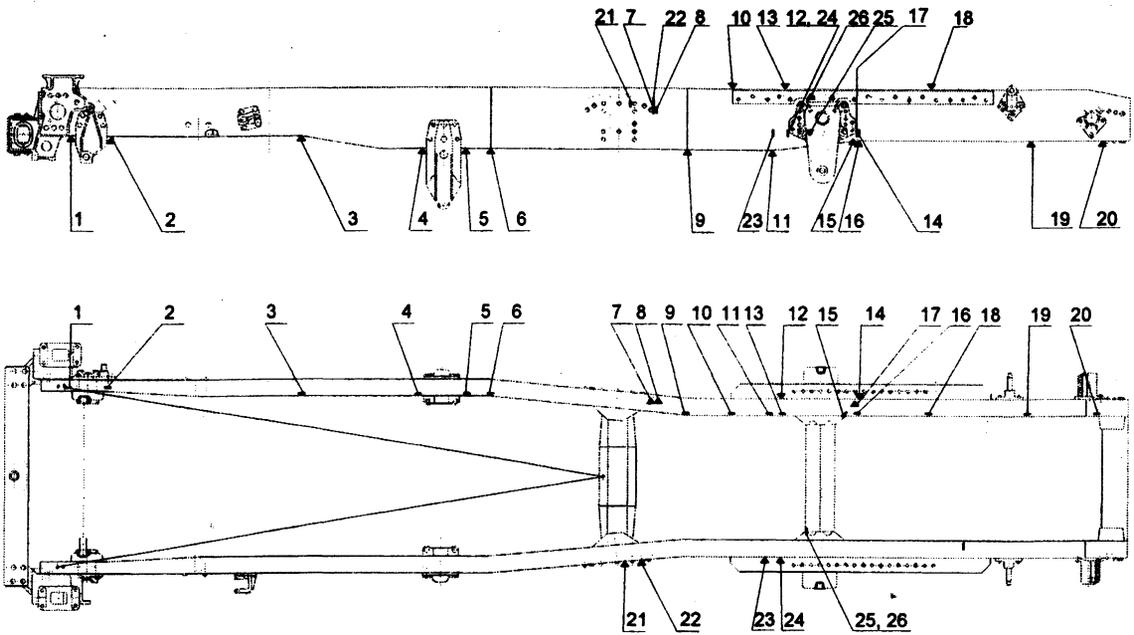


Рис. 1. Схема расположения тензодатчиков на раме тягача (№№ 1-26)

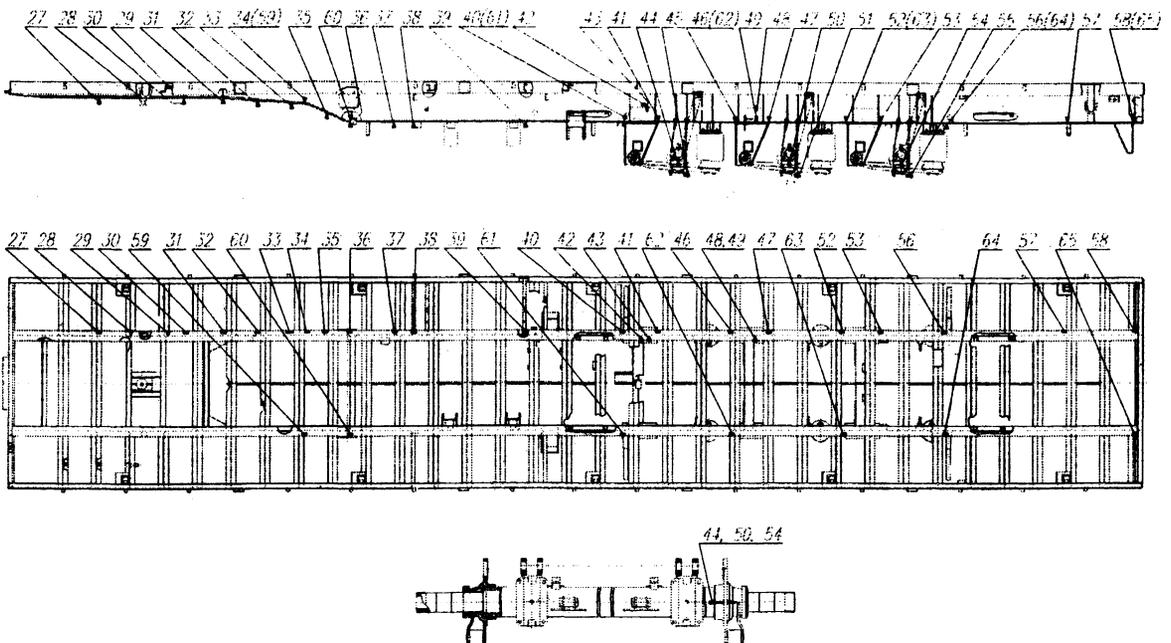


Рис. 2. Схема расположения тензодатчиков на раме (№№ 27-43, 46-49, 52, 53, 56-65), опорах подвески (№№ 45, 51 и 55) и оси (датчики №№ 44, 50, 54) полуприцепа

Напряженное состояние рамы определялось на следующих типах дорог и режимах движения в груженном и снаряженном состоянии, а также с поперечной штангой и без нее: «разбитый асфальт» - движение по неудовлетворительному асфальтовому покрытию, скорость движения  $V=40, 50, 60$  км/ч; «ровный асфальт» - движение по усовершенствованному асфальтовому покрытию МКАД, скорость движения  $V=50, 70, 90$  км/ч; «переставка» - движение согласно требований РД 37.001.005-86 со скоростями движения  $V=40, 50, 60$  км/ч; «переезд препятствия треугольной формы» высотой 100мм: единичное препятствие под левой стороной; единичное препятствие под правой

стороной; два препятствия в линию, перпендикулярно продольной оси автопоезда; два препятствия по диагонали, в продольной проекции расстояние между препятствиями соответствует базе тягача.

Статическое нагружение производилось путем равномерной загрузки полуприцепа строительными блоками весом 800-900кг. На тягаче производилось измерение статической нагрузки от веса полуприцепа и от веса балластного груза.

В ходе проведения динамических испытаний механические напряжения в элементах несущей системы определялись многоканальным измерительным усилителем MGCPlus фирмы HBM (Германия) (Рис. 3).

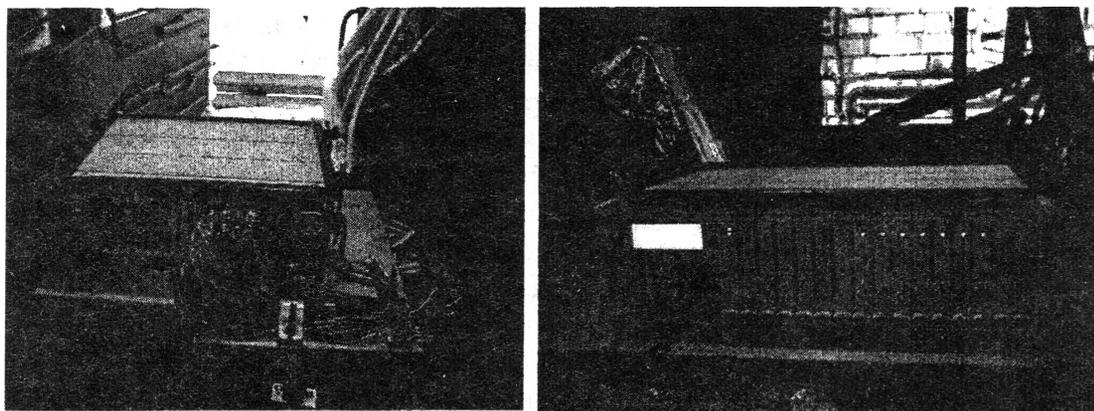


Рис. 3. Установка в кабине тягача многоканального измерительного усилителя MGCPlus

MGCplus — модульная, цифровая, универсальная система сбора и обработки измерительных данных. До 10000 каналов могут одновременно и синхронно осуществлять аналого-цифровое преобразование, цифровую фильтрацию и масштабирование сигнала. Для прибора разработано более 10 одно- и восьмиканальных модулей усилителей постоянного тока и несущей частоты 225Гц, 600Гц, 4,8 кГц и 9,6 кГц, несколько вариантов исполнения корпуса. Одноканальные модули позволяют подключать практически все известные типы датчиков и обеспечивают частоту опроса до 19200 изм./сек. Восьмиканальные модули обеспечивают частоту опроса до 2400 изм./сек и предназначены для работы с четверть-, полу- и полномостовыми схемами, термодатчиками, термометрами сопротивления, источниками напряжения, потенциометрическими датчиками. Каждый канал имеет собственный 20-битный АЦП, систему автокалибровки, аналоговые выходы по току, напряжению и источник питания для пассивных датчиков с регулируемым напряжением. Для контроля над технологическими процессами каждый канал прибора может быть оснащен четырьмя релейными модулями. Гибкость системе придает возможность задания до трех различных частот опроса в одном корпусе. Полоса пропускания усилителей до 50кГц. Класс точности от 0,0025% до 0,1%. Центральный процессор осуществляет сбор данных, временное хранение и управление прибором. Совместимость с другим цифровым оборудованием возможна благодаря использованию современных стандартных и специализированных цифровых интерфейсов, таких как Profibus и CAN. Максимальная скорость сбора данных достигается при интеграции системы в современные локальные вычислительные сети Ethernet. Прибор полностью настраивается и контролируется с помощью панели управления или программы SATMAN с простым, интуитивным интерфейсом. Программа позволяет проводить

сбор данных и визуализацию. Встроенный жесткий диск объемом 5Гб дает возможность использовать прибор самостоятельно и в мобильных испытаниях.

Обработка полученных данных осуществлялась на ПЭВМ с использованием программного продукта для обработки и визуализации случайных процессов Catman 3.0 фирмы НВМ, Excel 2000 фирмы Microsoft и авторской программы, написанной для расчета спектральных плотностей нагрузочных спектров.

**3. Результаты испытаний.** Результаты динамических испытаний приведены в виде цифровых файлов на компакт-дисках, обработаны и представлены в таблицах (в виде максимальных напряжений) и на рисунках, статических – в таблицах (в виде максимальных напряжений). Приведенные в таблицах данные получены путем осреднения по трем-четырем заездам. Для тягача исследования проводились для двух конструктивных вариантов рамы: с поперечной реактивной штангой и без нее.

Пример графического представления результатов экспериментальной оценки нагруженности приведен на Рис. 4 и Рис. 5 для датчика №13 при движении автопоезда с грузом по разбитому асфальту со скоростью  $V=60\text{км/ч}$ .

Анализ экспериментов показал, что максимальные напряжения растяжения и сжатия на раме тягача с поперечной реактивной штангой достигают при движении в режиме "переставка" на датчике №16. Данный режим движения приводит к максимальному закручиванию рамы при динамическом нагружении. При отсоединении поперечной штанги максимальные напряжения снижаются до безопасных величин и составляют 35-53МПа. Снижение напряженного состояния наблюдается также на датчиках 9, 10, 11, 14, 15, 17 и 19, т.е. в районе четвертой поперечины.

При движении в режиме "разбитый асфальт" поперечная реактивная штанга приводит к дополнительному нагружению зоны четвертой поперечины рамы тягача. Так, например, на датчике №16 падение максимальных напряжений достигло 3-4 раз. Данный режим движения в исследуемых точках не выявил сколь либо значимых напряжений на раме полуприцепа. Во всяком случае превышения предела выносливости материала лонжерона рамы полуприцепа не наблюдается.

Режим движения "ровный асфальт" является наиболее благоприятным с точки зрения напряженного состояния и долговечности несущих систем тягача и полуприцепа режимом эксплуатации. На данном режиме движения не наблюдается существенного влияния поперечной реактивной штанги на нагруженность лонжеронов рамы, кроме зоны в районе датчик №16, где наблюдается снижение максимальных напряжений до четырех раз. Данный режим не выявил наличия высоких максимальных напряжений на раме полуприцепа. На данном режиме движения не наблюдается существенного влияния поперечной реактивной штанги на нагруженность лонжеронов рамы, кроме зоны в районе датчика №16, где наблюдается снижение максимальных напряжений более чем в два раза.

На режиме движения "переезд единичных препятствий в линию" также наблюдается закономерность снижения напряженного состояния рамы полуприцепа при отсоединении поперечной реактивной штанги (датчик 16). Данный режим наиболее нагружает опору (полурессору) подвески полуприцепа (датчики 45, 51 и 55), особенно с увеличением скорости движения. Максимальные напряжения с учетом статической нагрузки достигают для датчика 45, для датчика 51 и для датчика 55 (материал опоры – рессорно-пружинная сталь 50ХГФА имеет следующие средневероятные характеристики: предел прочности  $\sigma_b=1422\text{МПа}$ ; предел текучести  $\sigma_T=1324\text{МПа}$ ; предел выносливости нижнего листа опоры в опасном по усталости сечении:  $\sigma_{-1}=275,38\text{МПа}$ ,  $\sigma_0=413,07\text{МПа}$ ).

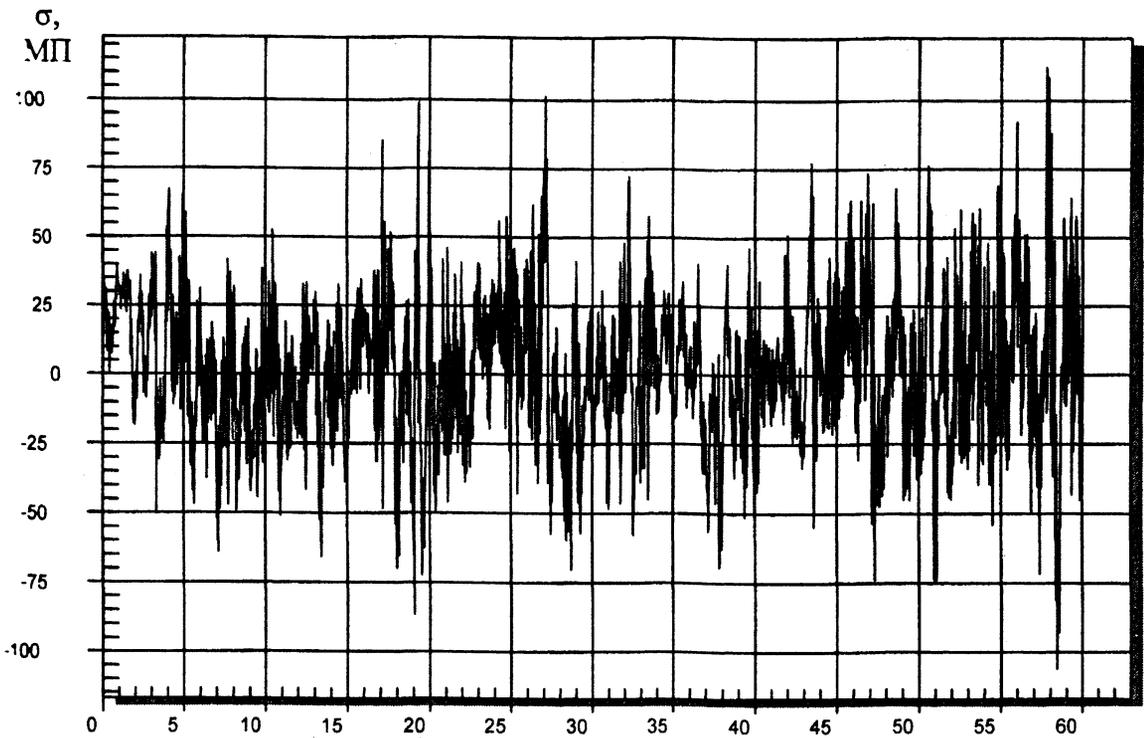


Рис. 4. Исходный процесс на датчике №13 при движении автопоезда по разбитому асфальту со скоростью  $V=60$  км/ч

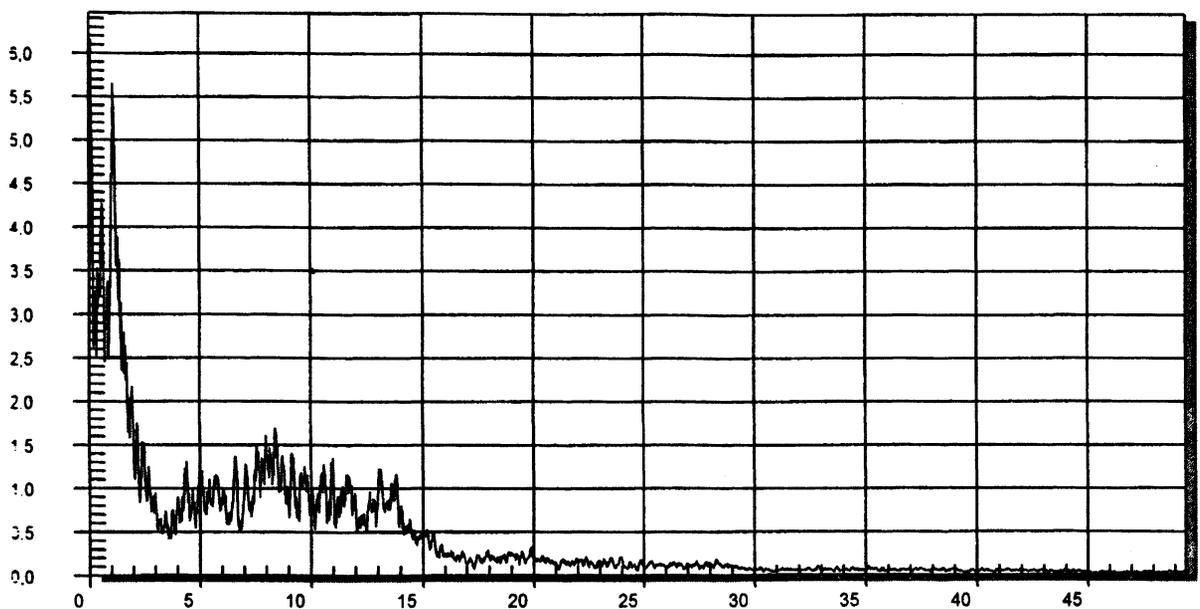


Рис. 5. Сглаженный спектр на датчике №13 при движении автопоезда по разбитому асфальту со скоростью  $V=60$  км/ч.

Данный режим не выявил наличия высоких максимальных напряжений на раме полуприцепа.

Режим движения "переезд единичных препятствий по диагонали" из всех приведенных режимов является наиболее опасным, т.к. на данном режиме происходит максимальное закручивание рамы тягача. Максимальные напряжения растяжения, зафиксированы на датчике 16 при движении с поперечной реактивной штангой на скорости  $V=60\text{км/ч}$ . При отсутствии данной штанги при прочих равных условиях данное напряжение почти в 2,5 раза ниже. На раме полуприцепа максимальные напряжения возникают на нижней полке лонжерона перед креплением кронштейнов пневмоподвески (датчики 40, 46, 52, 61, 62, 63). Однако величина максимальных напряжений в данном случае не превышает 100-141МПа.

Напряженное состояние рам тягача и полуприцепа от действия статической нагрузки. Максимальные напряжения сжатия на раме тягача при статическом нагружении возникают в зоне установки седельно-сцепного устройства (датчик №13). При статическом нагружении рамы полуприцепа и деталей подвески максимальные напряжения сжатия возникают соответственно на нижней полке лонжерона перед третьей опорой кронштейна подвески (датчик № 63) и на опорах пневмобаллона (датчики №№ 45, 51 и 55).

#### **4. Основные результаты и выводы по дорожным испытаниям.**

1. Экспериментально исследованы статическая и динамическая нагруженность несущих систем автопоезда при различных режимах эксплуатации и дорожных испытаний. Напряженное состояние лонжерона рамы в районе крепления четвертой поперечины (датчики 9, 10, 14, 15, 16, 17 и 19) при движении с задней поперечной реактивной штангой по разбитому асфальту, в режиме "переставка" и переезд единичных неровностей (т.е. режимы движения на которых происходит наибольшее закручивание рамы) значительно повышает напряженное состояние рамы по сравнению с движением автомобиля в аналогичных условиях но без реактивной штанги, например при движении груженого автомобиля со скоростью 50км/ч в режиме "переставка". Одним из вариантов снижения напряженного состояния правого лонжерона рамы за четвертой поперечиной может быть усиление данной зоны путем удлинения усилителя четвертой поперечины до пятой поперечины и увеличение привалочной плоскости кронштейна крепления задней поперечной реактивной штанги. Наиболее благоприятным режимом движения для данного автопоезда является режим движения по "ровному асфальту" на скоростях, допустимых Правилами дорожного движения. Проведенные испытания не выявили значительных максимальных напряжений на раме полуприцепа. Во всяком случае, из всех исследуемых точек величины максимальных напряжений либо не превышают, либо не значительно превышают предел выносливости материала рамы без учета концентраторов напряжений. Из приведенных данных максимальные напряжения были зафиксированы перед креплением трех кронштейнов подвески и в зоне датчика №49.

2. Получен ценный систематический экспериментальный материал для «тестирования» имитационных статических и динамических моделей вариантов автопоезда при «отладке» их математических моделей, предназначенных для расчетного прогнозирования нагруженности несущих систем и элементов, в т.ч. – опасных по усталости, что является важнейшей структурной составляющей ресурсного проектирования несущих конструкций.