

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПОДВЕСКИ ЛЁГКОГО КОММЕРЧЕСКОГО АВТОМОБИЛЯ

Огороднов С.М.¹, Малеев С.И.¹, Мошков П.С.¹, Торопов Е.И.¹

¹ФГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Н. Новгород, Россия (603950, Н. Новгород, ГСП-41 ул. Минина, 24), e-mail: nntu@nntu.nnov.ru

В статье рассматриваются результаты проведённых испытаний по оценке вибронагруженности несущей системы автомобиля. Основная цель исследования - получение экспериментальных данных для проведения проверки расчетных моделей и оценки возможности их правомерного использования на этапах проектирования. Объектом исследования являлся легкий коммерческий грузовик ГАЗель NEXT. В процессе испытаний выполнялись заезды с различными скоростями по дорогам с асфальтобетонным покрытием и булыжной ровного мощения на полигоне ООО «Автомобильный завод «ГАЗ». В процессе обработки и амплитудно-частотного анализа экспериментальных данных установлено, что частотный диапазон процессов вертикальных ускорений поддресоренной массы не соответствует частотному характеру возмущений, обусловленных движением по микропрофилю испытательных участков дороги. Причиной увеличения частотного диапазона виброускорений могут быть возмущения, вызванные работой двигателя автомобиля. Проведенные дополнительные эксперименты показали необходимость применения фильтра с нижней границей 22,4 Гц. Полученные результаты позволяют осуществить верификацию и выбор расчётных моделей двухосных транспортных средств.

Ключевые слова: подвеска, вибронагруженность, микропрофиль.

EXPERIMENTAL DYNAMICS INVESTIGATIONS OF THE SUSPENSION LIGHT COMMERCIAL VEHICLE

Ogorodnov S.M.¹, Maleev S.I.¹, Moshkov P.S.¹, Toropov E.I.¹

¹Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, street Minina, 24), e-mail: nntu@nntu.nnov.ru

In this article we consider the results of implemented tests to assess the vibration load carrier system of the car. The main objective of this research is obtaining experimental data for validation of computational models and assessing the possibility of their lawful using during the design. Light commercial vehicles Gazelle NEXT was the object of the research. During the tests races was performed at different speeds on roads with asphalt concrete pavement and cobblestone paving smooth at the training ground of "Automobile Plant " GAZ ". During process of treatment and amplitude-frequency analysis of the experimental data we revealed that the frequency range of processes of vertical accelerations of the sprung mass doesn't correspond to the nature of the perturbation frequency caused by the motion for microprofile test sections of road. The reason can be perturbations caused by operation of the vehicle engine. Obtained additional experiments shown the need for a filter with a lower limit of 22.4 Hz. The obtained results allow to perform verification and selection of design models biaxial vehicles.

Keywords: suspension, vibration loading, microscopic profile.

Автомобиль представляет колебательную систему, состоящую из масс кузова, мостов, колес, двигателя и других частей, связанных между собой жесткими, упругими и демпфирующими звеньями. Характер колебаний транспортных средств (ТС, автомобиль), возникающих при движении по дорогам со случайными характеристиками макро- и микропрофиля существенно влияет на их основные эксплуатационные характеристики. Основными конструктивными элементами, защищающим автомобиль от динамических воздействий со стороны дороги до уровня приемлемого в соответствии с требованиями нормативных документов [1, 2] или прочности элементов конструкции, являются подвеска и шины.

При проектировании подвески используются аналитические методы оптимизации её параметров, базирующиеся на использовании расчётных (математических) моделей автомобиля. В большинстве случаев, при исследовании динамики могут быть использованы плоские трёхмассовые модели, рисунок 1.

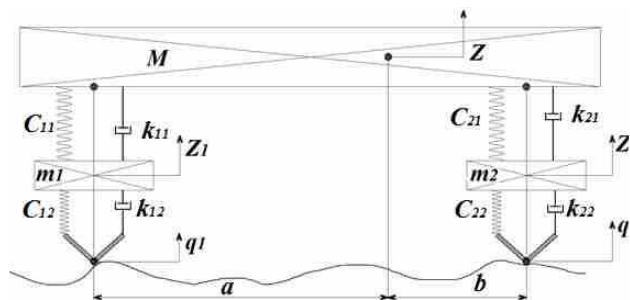


Рис.1. Математическая модель колёсной машины

Аналитические методы решения задачи оптимизации параметров подвески основаны на следующих основных предположениях: лучшими из возможных условий контакта («сцепления») колеса с дорогой считаем такие, при которых изменение величины нормальной реакции, действующей на колёса автомобиля, минимальны; виброн нагруженность несущей системы должна обеспечивать допустимый уровень вибровоздействия на водителя в соответствии с [1].

Основной целью натурных испытаний является получение экспериментальных данных для проведения верификации расчётных моделей автомобиля и оценки возможности их правомерного использования на этапах проектирования.

Основной целью натурных испытаний является получение экспериментальных данных для проведения верификации расчётных моделей автомобиля и оценки возможности их правомерного использования на этапах проектирования.

Объектом исследования являлся легкий коммерческий грузовик ГАЗель NEXT с дизельным двигателем CUMMINS ISF 2.8 полной массой 3,5 т. Испытания выполнены на полигоне ООО «Автомобильный завод «ГАЗ». В процессе испытаний выполнялись заезды с различными скоростями по дорогам с асфальтобетонным покрытием и булыжной ровного мощения, рисунок 2.



а



б

Рис. 2. Дороги автополигона: а – булыжник ровного мощения, б – асфальтобетон

В силу особенности макропрофиля дорог испытательных участков полигона (горизонтальная прямолинейная дорога) при оценке виброн нагруженности несущей системы учитываются только вертикальные колебания автомобиля.

Регистрировались процессы изменения вертикальных ускорений на лонжероне рамы над передней осью автомобиля и нормальной реакции, действующей на переднее колесо автомобиля в зависимости от времени движения.

При обработке результатов эксперимента выполнена оценка средних и среднеквадратических величин выборочных реализаций нормальных сил и вертикальных ускорений при движении по дорогам с разным покрытием и на различных скоростях.

По дороге с асфальтобетонным покрытием выполнены заезды со скоростями движения 60, 75, и 90 км/ч, по булыжной дороге ровного мощения (мелкий булыжник) со скоростями 30, 40 и 50 км/ч. Длины измерительных участков во всех случаях составили один километр.

Контроль скорости движения выполнялся с помощью устройства Racelogic VBOXIISX, обеспечивающего бесконтактное измерение скорости, расстояния, углов скольжения, наклона, крена с помощью технологий GPS. Запись и передача сигналов осуществляется по 20 каналам данных и 13 стандартным каналам GPS с частотой 20 Hz.

Для регистрации ускорений подпрессоренной массы в вертикальном направлении использовался одноосный акселерометр тензометрического типа ARJ-50 А (датчик ускорений), обеспечивающий регистрацию ускорений в диапазоне $0,025 - 50 \text{ м/с}^2$ в частотном диапазоне 0 – 150 Гц. Акселерометр имеет внутреннее сопротивление 1000 Ом, чувствительность 0.5 мВ/В, нелинейность 1%, класс защиты IP61, температурный режим $-20...+50\text{C}$. Датчик установлен на правом лонжероне рамы строго над осью передних колес, рисунок 3.



Рис. 3. Установка датчика ускорения

Нормальные силы, действующие в пятне контакта шины колеса с опорной поверхностью регистрировались косвенным методом при измерении напряжений изгиба в нижнем рычаге передней подвески. Для этого на правом рычаге передней подвески, около опоры его крепления к балке моста, установлены четыре фольговых тензорезистивных преобразователя FLA-5-11 (тензорезистор), рисунок 4, соединенные в мостовую схему. База тензорезисторов 5 мм, сопротивление 120 Ом, максимальное значение относительного удлинения 15...20%, рабочая температура – $20...+80\text{C}$.

Нормальные силы, действующие в пятне контакта шины колеса с опорной поверхностью регистрировались косвенным методом при измерении напряжений изгиба в нижнем рычаге передней подвески. Для этого на правом рычаге передней подвески, около опоры его крепления к балке моста, установлены четыре фольговых тензорезистивных преоб-

Для защиты от механических повреждений на тензорезисторы впоследствии нанесены несколько слоев специальной эпоксидной смолы, а соединительные провода размещены в кабель-канале и надежно закреплены.

Регистрация исследуемых сигналов и их обработка выполнена с использованием многоканального записывающего устройства TMR-211, обеспечивающего комбинации входных/выходных величин различного типа, таких как деформация, температура, напряжение, САН и др. Прибор может регистрировать одновременно до 80 параметров с дискретизацией опроса по каждому каналу до 100 кГц. Визуальное отображение процессов обеспечивалось блоком индикации TMR-281.



а

б

Рис.4. Установка тензорезисторов на рычаг подвески: а – верхняя часть рычага, б - нижняя часть рычага

Средства измерения, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, поверены в соответствии с ПР 50.2.006, не подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору – калиброваны по ПР 50.2.016 или поверены. Испытательное оборудование аттестовано по ГОСТ Р 8.568.

Тензометрический мост для измерения нормальной реакции калибровался с помощью электронных переносных автомобильных весов CAS RW-10P (весы), установленных под соответствующим колесом автомобиля.

Статическая калибровка акселерометра выполнялась поворотом измерительной (активной) оси от горизонтального положения, при котором сигнал акселерометра соответствует ускорению, равному нулю до вертикальных положений, соответствующих углам поворота 90° и 270° и действующему ускорению $1g$.

При проведении испытаний контролировалась температура, относительная влажность окружающего воздуха и атмосферное давление.

На рисунке 5 (а) приведены выборочные реализации вертикальных ускорений \ddot{z} при движении по асфальтобетону со скоростью 60 км/ч; рис. 5 (б) – вертикальные ускорения, ровный булыжник, скорость 30 км/ч; рис. 5 (в) – нормальная реакция N на переднем колесе, асфальтобетон, скорость 60 км/ч; рис. 5 (г) – нормальная реакция на переднем колесе, ровный булыжник, скорость 30 км/ч.

В процессе обработки и амплитудно-частотного анализа экспериментальных данных установлено, что частотный диапазон процессов вертикальных ускорений подрессоренной массы не соответствует частотному характеру возмущений, обусловленных движением по микропрофилю испытательных участков дороги.

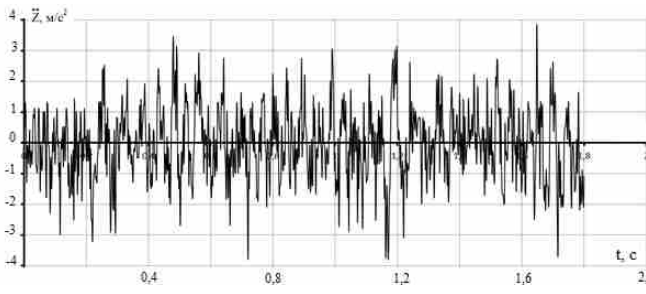
Причиной увеличения частотного диапазона виброускорений могут быть возмущения, обусловленные работой двигателя автомобиля. Для определения степени и характера влияния вибровозмущений от двигателя на частотный состав вертикальных виброускорений, выполнены дополнительные эксперименты. Испытания проводились в лабораторных условиях на неподвижном автомобиле. В процессе испытаний двигатель работал в режиме холостого хода и при 2000 об/мин. На рисунке 5 (д, е) показаны амплитудно-частотные характеристики вертикальных ускорений, вызванные работой двигателя автомобиля в режиме холостого хода и при частоте вращения коленчатого вала двигателя 2000 об/мин.

Нижняя граница резонансной зоны при работе двигателя на холостых оборотах равна примерно 24,41 Гц. С увеличением частоты вращения коленчатого вала, границы резонансных зон смещаются в сторону высоких частот.

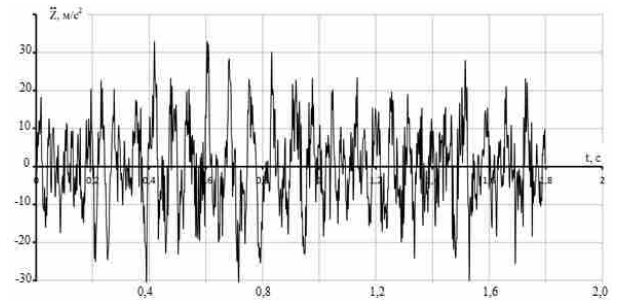
В связи с выявленными обстоятельствами и в целях адекватной оценки результатов аналитических и экспериментальных исследований было принято решение о дополнительной обработке результатов эксперимента.

Каждая из экспериментальных реализаций обрабатывалась с помощью фильтра с нижней границей 22,4 Гц. На рисунке 5 (ж) показаны реализации вертикальных ускорений подрессоренной массы автомобиля на лонжероне над передней осью подвергнутые дополнительной обработке с помощью фильтра.

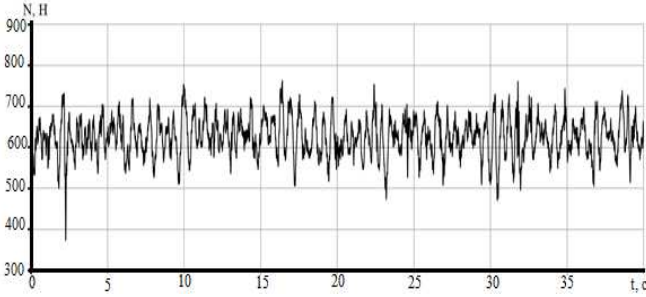
В целях исключения влияния работы двигателя на результаты натурального эксперимента при регистрации нормальной реакции на колесе, они также подверглись дополнительной обработке с помощью фильтра с нижней частотой диапазона фильтрации 22,4 Гц, рисунок 5 (з).



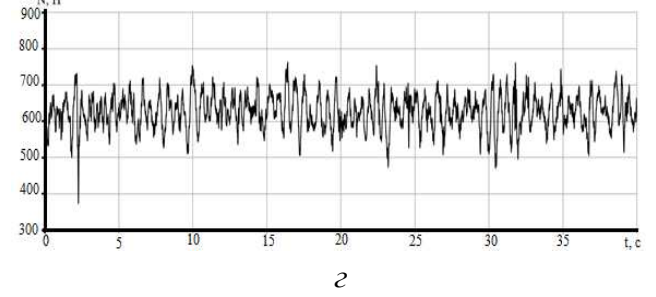
a



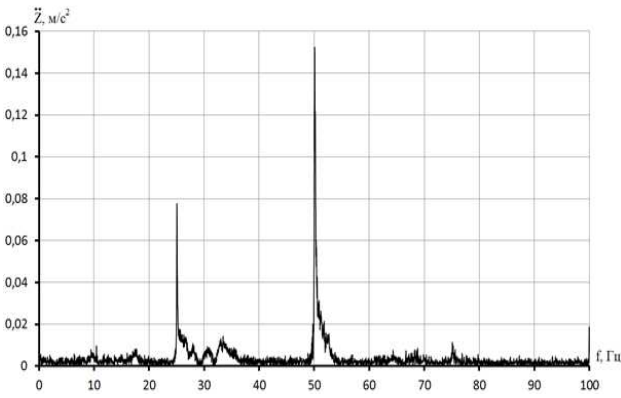
б



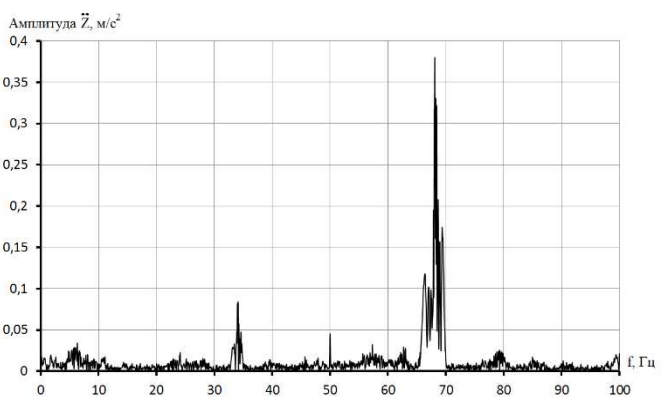
в



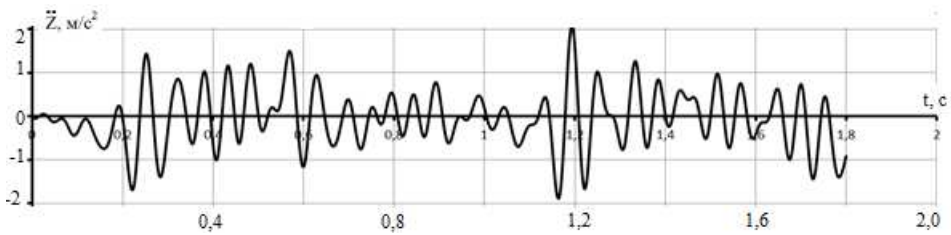
г



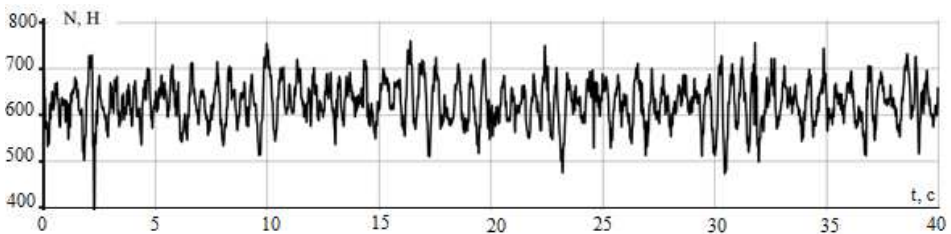
д



е



ж



з

Рис. 5. Результаты обработки экспериментальных данных

Выводы:

Выполненные экспериментальные исследования позволяют осуществить верификацию и выбор расчетных моделей двухосных транспортных средств пригодных для аналитических исследований их динамических свойств и оптимизации основных конструктивных параметров и характеристик подвески.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г. (постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года №218). Экспериментальные исследования выполнены с использованием измерительного оборудования Центра коллективного пользования НГТУ "Транспортные системы"

Список литературы

1. ГОСТ 12.1.012 – 90. Вибрационная безопасность. Общие требования. / Госкомитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 46 с.
2. «Технический регламент о безопасности колесных транспортных средств». / Утвержден постановлением Правительства РФ №720 от 10.09.2009 г.
3. Беляков В. В. Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В. В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ. – 2013. - №3(100). – С. 145-175.
4. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель / Под . ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
5. Мусарский Р.А. Математические модели колесных экипажей: Учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского. 2008. 164 с.
6. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
7. Яценко Н.Н. Плавность хода грузовых автомобилей / Н.Н. Яценко, О.К. Прутчиков. – М.: Машиностроение, 1968. – 220 с.

Рецензенты:

Орлов Л.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобили и тракторы» ИТС НГТУ, ФГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Н. Новгород;

Беляков В.В., д.т.н., профессор, руководитель УНИиИР, ФГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Н. Новгород.