

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
АО «ВНИИТрансмаш»,
кандидат технических наук

А.П. Свиридов

2020 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Полякова Юрия Анатольевича по теме:
«Динамический анализ комплексных виброзащитных систем транспортных средств», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры (технические науки)

Актуальность темы работы. Для сложных виброзащитных систем, характеризующихся значительными относительными перемещениями их элементов при движении по разбитым дорогам и единичным неровностям, весьма актуальной задачей представляется отказ от предположения о малых перемещениях тел, обычно применяющемся при проведении соответствующих расчётов, и проведение расчётов на базе дифференциальных уравнений больших перемещений тел, без допущения о малости углов их поворота, то есть с точным описанием угловой ориентации тел. Комплексный характер сложного динамического взаимодействия элементов систем виброзащиты, объектов виброзащиты и несущих конструкций транспортных средств, перемещающихся по дорогам с твёрдым покрытием, обуславливает необходимость разработки новых методов формирования динамических моделей виброзащитных систем транспортных средств и расчёта пространственных колебаний их конструкций при импульсных и случайных дорожных воздействиях.

В результате открываются возможности более точного учёта пространственного характера колебаний, многозвенности структуры расчётной системы, динамических жёсткостей и динамических коэффициентов демпфирования элементов виброзащитных систем, геометрических нелинейностей, связанных с кинематическими особенностями элементов конструкции; соответствующих нелинейностей характеристик упругодемпфирующих элементов, импульсных и случайных дорожных возмущений, а также добавления моделей специфичных взаимодействий, в частности, качения колёс с эластичными шинами.

Актуальность работ определяется тем, что на основе дифференциальных уравнений больших перемещений тел автору удалось рассмотреть ряд задач в области динамического анализа виброн нагруженности конструкций транспортных средств, полноценное решение которых ранее на этапе проектирования было весьма затруднительно и осуществлялось лишь в процессе анализа результатов дорогостоящих дорожных испытаний опытных образцов и экспериментальной доводки их конструкций.

Целью диссертационной работы является расширение возможностей динамического анализа и прогнозирования вибронагруженности конструкций транспортных средств, а также выбор рациональных параметров виброзащитных систем на этапах их проектирования и дальнейшего совершенствования.

Место диссертационной работы. Решена актуальная научно-техническая проблема, имеющая важное прикладное и хозяйственное значение, что расширило возможности прогнозирования вибронагруженности конструкций транспортных средств и позволило осуществлять выбор рациональных параметров виброзащитных систем на этапах проектирования по результатам динамического анализа параметров многозвенных виброзащитных систем, основанного на рассмотрении комплексного пространственного взаимодействия элементов виброзащитных систем, объектов виброзащиты и несущих конструкций транспортных средств, с учётом детализации элементов виброзащитных систем и совершаемых ими больших перемещений в составе нелинейных динамических моделей транспортных средств при случайных и импульсных дорожных воздействиях.

Научная новизна диссертационной работы

1. Разработаны методы формирования комплексных динамических моделей виброзащитных систем, кабин, подсистем «человек – подпрессоренное сиденье» при их включении в пространственные динамические модели транспортных средств.

2. Предложен метод расчёта, в котором упругие колебания конечно-элементной модели рассматриваются совместно с большими перемещениями подвижного жёсткого каркаса упругого тела в составе динамической модели транспортного средства.

3. Созданы новые пространственные динамические модели ряда транспортных средств, перемещающихся по дорогам с твёрдым покрытием, с учётом специфики конструкций несущих систем и детализированной проработкой особенностей элементов виброзащитных систем всех уровней, с учётом, при необходимости, деформируемости несущих систем (рам, кузовов, кабин), а также поглощающей и сглаживающей способностей шин.

4. Сформированы новые пространственные многозвенные динамические модели виброзащитных систем (подвесок транспортных средств, кабин; систем виброизоляции кузова и силового агрегата) на базе дифференциальных уравнений больших перемещений тел; с учётом нелинейностей гистерезисных динамических характеристик, с применением подробной детализации геометрических особенностей направляющих аппаратов подвесок, а также с учётом жесткостных и демпфирующих свойств шарнирных соединений.

5. Представлены новые динамические модели подсистем «человек – подпрессоренное сиденье» с детализацией представления направляющих аппаратов подвесок сидений; с учётом динамических жёсткостей подвески, подушки и спинки сиденья в зависимости от величины сухого трения и

амплитуды дорожного воздействия; с уточнением упругодемпфирующих связей в модели тела человека, расположенного на сиденье.

6. Получены новые результаты по оценке вибронегруженности и выбору рациональных параметров виброзащитных систем ряда транспортных средств при перемещении по случайным и импульсным дорожным неровностям, на основе которых выработаны рекомендации по их проектированию и дальнейшему совершенствованию.

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы

1. Применение нелинейных пространственных моделей транспортных средств с детализацией представления элементов систем виброзащиты, с учётом комплексного характера пространственного динамического взаимодействия элементов виброзащитных систем всех уровней, объектов виброзащиты и несущих конструкций при случайном и импульсном внешних воздействиях обеспечило появление новых возможностей для динамического анализа влияния параметров элементов виброзащитных систем на вибронегруженность транспортных средств.

2. Рассмотрен ряд задач, полноценное решение которых ранее, на этапе проектирования, было весьма затруднительно и осуществлялось лишь в процессе анализа результатов дорожных испытаний опытных образцов и экспериментальной доводки их конструкций, что отражалось на существенном повышении стоимости работ:

– осуществлён динамический анализ влияния на вибронегруженность транспортного средства параметров элементов виброзащитных систем с учётом их динамических жёсткостей, взаимного динамического воздействия элементов подвесок, несущих конструкций, неподрессоренных и поддрессоренных масс, а также особенностей конструкций направляющих аппаратов подвесок;

– благодаря детализации особенностей направляющих аппаратов подвесок транспортного средства, кабины и сиденья в сочетании с применением дифференциальных уравнений больших перемещений тел, удалось подробно проанализировать вибронегруженность транспортных средств при перемещении по участкам с высоким уровнем случайного внешнего воздействия, а также при переезде импульсных неровностей;

– учёт влияния деталей крепления упругих, демпфирующих и направляющих элементов подвесок (в частности, сайлент-блоков, шарниров и т. д.), а также опор-виброизоляторов на изменение характера вибронегруженности конструкции транспортного средства, проявляющихся на частотах свыше 10 Гц, позволил ещё на стадии проектирования предотвратить появление характерных спектральных пиков, в несколько раз превышающих общий уровень спектра и подобрать рациональные упругодемпфирующие характеристики указанных элементов;

– исследовано воздействие упругих форм колебаний рамы и подсистемы «кабина – цельнометаллический фургон» на характер вибронегруженности транспортного средства, проявляющееся на частотах свыше 10 Гц;

– впервые, ещё на этапе проектирования, зафиксирована возможность появления S-образного продольного изгиба при разгоне и торможении с помощью новой многозвенной модели рессоры, с учётом особенностей её установки и деталей крепления, что позволило предпринять меры по его

устранению путём выбора рациональных геометрических параметров продольных реактивных штанг и координат мест их установки;

– получены и проанализированы кинематические характеристики подвесок при разгоне и торможении в целях обеспечения допустимых углов продольно-углового крена поддрессоренных масс транспортного средства;

– исследовано влияние сухого и вязкого трения в соответствующих элементах виброзащитных систем с нелинейными упругодемпфирующими характеристиками;

– детальная проработка модели виброзащитной системы кабины с уточнённым представлением её элементов и их включение в состав пространственной динамической модели грузового автомобиля позволила осуществить подробный динамический анализ параметров подвески кабины;

– включение новых динамических моделей подсистемы «водитель – поддрессоренное сиденье» позволило проанализировать влияние параметров подвески и подушки сиденья с учётом сложного характера взаимодействия подсистемы «человек – сиденье» с остальными элементами пространственной динамической модели транспортного средства;

– уточнение представления упругодемпфирующих связей в модели тела человека позволило сформировать экспериментально подтверждённый второй максимум графика модуля передаточной функции поддрессоренного сиденья, соответствующий собственным колебаниям внутренних органов человека и расположенный в диапазоне 6...8 Гц; увеличить в 2 раза, максимально приблизив к экспериментальным данным, ординату второго резонансного максимума и сформировать соответствующий межрезонансный пик спектра вертикальных ускорений на подушке сиденья и его остова;

Практическая значимость результатов диссертационной работы

1. Разработанные методы, полученные результаты и выводы в области исследования и проектирования виброзащитных систем использованы в процессе создания конструкций многоуровневых систем виброзащиты (подвесок автомобилей, кабин и сидений) ряда транспортных средств.

2. Определены возможности и целесообразность использования разработанных динамических моделей и полученных результатов при проектировании и рационализации параметров виброзащитных систем для машиностроительных предприятий: ООО «Волгоградская машиностроительная компания «ВгТЗ» (г. Волгоград), ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва), ООО «ОКБ «АНТ» (г. Набережные Челны), ОАО «Военно-инженерный центр» группы «ГАЗ» (г. Нижний Новгород), компания «Shinjeong Development Corporation» (г. Ульсан, Южная Корея), АМО «ЗиЛ» (г. Москва).

Достоверность и обоснованность представленных научных положений, рекомендаций и выводов, а также созданных динамических пространственных моделей виброзащитных систем и транспортных средств обеспечена строгим математическим обоснованием разработанных методов и базируется на применении в ходе расчётов экспериментальных характеристик ряда элементов систем виброзащиты, а также на сопоставлении результатов расчётов с экспериментальными данными по виброн нагруженности конструкций транспортных средств, полученными при непосредственном участии автора.

Апробация результатов диссертации. Основные положения представлены на конференциях, докладывалась на семинарах лаборатории вибромеханики ИМАШ РАН, а также на заседаниях кафедр: «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов», «Наземные транспортные средства» Московского политехнического университета; «Сопротивление материалов», «Техническая механика», «Автомобили и двигатели» Московского государственного индустриального университета; «Автомобили» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета.

Публикации. Результаты выполненных исследований в полной мере отражены в 62 печатных работах, в числе которых 3 статьи в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, 27 статей в журналах, входящих в Перечень ВАК, 1 монография, 23 работы в сборниках конференций, 8 работ в периодических изданиях.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, цель и задачи исследования, раскрывает научную новизну работы, её теоретическую и практическую значимость, содержит сведения об апробации работы.

Во введении указана актуальность диссертационного исследования, приведены цель, основные задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе выполнен анализ исследований в области динамики систем тел и виброн нагруженности конструкций транспортных средств. На его основе сформулированы основные задачи и определено место диссертационной работы.

Вторая глава посвящена специфике формирования пространственных многозвенных динамических моделей транспортных средств на основе дифференциальных уравнений больших перемещений тел.

Предложено отказаться от предположения о малых перемещениях тел, обычно применявшемся при проведении соответствующих расчётов виброн нагруженности транспортных средств, и осуществлять их на базе дифференциальных уравнений больших перемещений тел. Предложен метод расчёта, в котором упругие колебания конечно-элементной модели рассматриваются совместно с большими перемещениями подвижного жёсткого каркаса упругого тела в составе пространственной динамической модели транспортного средства.

Сформированы дифференциальные уравнения больших перемещений тел пространственной системы, соединённых кинематическими связями. Сформированы выражения, входящие в состав левой и правой частей уравнений связей. Комбинируя различным образом соответствующие компоненты векторов и матриц уравнений связей, приходим к уравнениям связей, описывающим требуемые виды кинематических пар, которыми соединены твёрдые и упругие тела.

В третьей главе представлены новые динамические модели и особенности формирования динамических характеристик типовых элементов систем виброзащиты транспортных средств.

Предложен и программно реализован новый метод формирования комплексных динамических моделей виброзащитных систем транспортных средств. В отличие от известных методов, в состав динамической модели включаются элементы виброзащитных систем с учётом специфики их

геометрических параметров и установки в составе транспортного средства, детальной проработки особенностей направляющего аппарата и креплений к объектам виброзащиты и элементам несущих систем (раме, кабине или каркасу цельнометаллического фургона).

Созданы новые многозвенные модели рессорных, пружинных, пневматических и пневмогидравлических подвесок транспортных средств, учитывающие:

- подробную детализацию геометрических особенностей направляющего аппарата, обеспечивающую уточнение кинематики упругого и демпфирующего элементов подвесок, что позволяет принимать во внимание нелинейное изменение жёсткостей и коэффициентов демпфирования при их приведении к колесу;

- нелинейность гистерезисных динамических характеристик упругих элементов подвесок и шин, что обеспечивает учёт динамической жёсткости упругого элемента подвески и шины в зависимости от ширины гистерезисной петли и амплитуды цикловых колебаний при внешнем дорожном воздействии.

В четвёртой, пятой и шестой главах осуществлён динамический анализ первичных виброзащитных систем транспортных средств, представлены выводы и рекомендации по выбору рациональных параметров при их проектировании и совершенствовании.

В седьмой главе сделан динамический анализ вторичных систем виброзащиты транспортных средств, в частности, подвески кабины, а также виброизоляторов кузова. Исследовано воздействие упругих форм колебаний рамы и подсистемы «кабина – цельнометаллический фургон» на виброн нагруженность автомобиля-фургона.

В восьмой главе выполнен динамический анализ виброзащитных свойств созданных подсистем «водитель – подрессоренное сиденье» в составе пространственных динамических моделей транспортных средств.

Замечания по диссертационной работе

1. В процессе совершенствования разработанных динамических моделей транспортных средств следует рассмотреть возможность учёта вибровоздействия на систему «водитель – подрессоренное сиденье» работы двигателя и трансмиссии машины, что позволит обеспечить дальнейшее уточнение характеристик виброн нагруженности на частотах свыше 10 – 15 Гц и определить источники возникновения вибрации.

2. При включении подсистемы «человек – подрессоренное сиденье» в пространственные динамические модели рассматриваемых транспортных средств не учитывается взаимодействие водителя с органами управления транспортным средством. Представляет интерес динамический анализ локальных вибраций в местах контакта рук и ног человека с органами управления и их сопоставление с результатами экспериментальных замеров.

Заключение по диссертации. Отмеченные замечания не снижают ценности работы и могут быть учтены при дальнейших исследованиях.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и содержит решение актуальной научно-технической проблемы, имеющей важное прикладное и хозяйственное значение, что расширило возможности прогнозирования виброн нагруженности конструкций транспортных средств и позволило осуществлять выбор рациональных параметров виброзащитных систем на этапах проектирования по результатам динамического анализа параметров многозвенных виброзащитных систем, основанного на рассмотрении комплексного пространственного взаимодействия элементов виброзащитных систем, объектов виброзащиты и несущих конструкций транспортных средств, с учётом детализации элементов виброзащитных систем и совершаемых ими больших перемещений в составе нелинейных динамических моделей транспортных средств при случайных и импульсных дорожных воздействиях.

Диссертация соответствует п. 9, 10 Паспорта научной специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры (технические науки), а также требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, и её автор Поляков Юрий Анатольевич заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры (технические науки).

Заместитель директора по качеству и
информационным технологиям,
кандидат технических наук,
доцент



Куртц Дмитрий Владимирович

Начальник лаборатории ходовой части,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник



Рождественский Сергей Владимирович

7.7.2020г
АО «Всероссийский научно-исследовательский
институт транспортного машиностроения»
Адрес: 198323, Санкт-Петербург, ул. Заречная, д. 2
Тел.: +7 (812) 244-42-42
Сайт: <http://www.vniitransmash.ru>
E-mail: tm@vniitransmash.ru