

**РАЗВИТИЕ В ИНСТИТУТЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ
НАН УКРАИНЫ И НКА УКРАИНЫ СОЗДАНЫХ В. А. ЛАЗАРЯНОМ
НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТНОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Изложены результаты научных и прикладных работ, выполняемых в Институте технической механики НАН Украины и НКА Украины по основным направлениям, разработанным известным ученым в области механики В. А. Лазаряном.

Викладено результати наукових і прикладних робіт, що виконуються в Інституті технічної механіки НАН України і НКА України по основних напрямках, розроблених відомим вченим у галузі механіки В. А. Лазаряном.

This paper presents the results of the fundamental and applied studies that are conducted at the Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the National Space Agency of Ukraine along the lines originated by the well-known mechanical scientist V.A. Lazaryan.

Научные направления деятельности известного ученого В. А. Лазаряна после его кончины продолжают существенно развиваться многочисленными учениками. Разработки ученых, последователей Всеволода Арутюновича, используются, в частности, при создании новых и совершенствовании существующих конструкций транспортных средств, в которых нуждается как Украина, так и другие страны СНГ и Балтии.

В Институте технической механики НАН Украины и НКА Украины (ИТМ НАНУ и НКАУ) по этим направлениям работают сотрудники отделов статистической динамики механических систем и динамики многомерных механических систем. Основные результаты исследований опубликованы в работах [1 – 46].

Развиты эффективные методы исследования стационарных и нестационарных случайных колебаний сложных механических систем, предложены способы идентификации и оптимизации их параметров; разработаны математические модели и методы решения задач статистической динамики транспортных средств и перевозимых грузов. С использованием этих методов решен ряд важных народнохозяйственных задач виброзащиты конструкций машин и сооружений, прогнозирования вибронагруженности изделий ракетно-космической техники при транспортировке, что позволило ускорить их создание, снизить металлоемкость, повысить надежность и долговечность [1 – 8].

Прикладные исследования проведены, в частности, в интересах транспортного машиностроения как одной из наиболее металлоемких и энергоемких отраслей народного хозяйства. Так, по заказам организаций Минтяжмаша СССР выполнен полный цикл углубленных динамических расчетов ряда создававшихся универсальных и специализированных рельсовых экипажей, а также выданы рекомендации по выбору основных параметров проектируемых транспортных средств, рациональных с точки зрения обеспечения их прочности и динамических качеств, сохранности и виброзащиты перевозимых грузов, безопасности движения [1 – 4]. К примеру, принято участие в создании вагона-платформы для перевозки большегрузных контейнеров, длиннобазной универсальной платформы с повышенной нагрузкой на ось, вагонов бункерного типа для бестарной перевозки муки и полимеров, многоосных транспортеров грузоподъемностью 700 т, вагона для перевозки грузо-

© В.Ф. Ушкалов, Н.Е. Науменко, Т.Ф. Мокрий, 2009

вых автомобилей, платформы-рельсовоза, двухсекционного вагона для перевозки сыпучих грузов, думпкаров, миксеров, специализированных ходовых частей для грузовых вагонов, унифицированной тележки ходовой части многоосных транспортеров, вагонов электропоездов, вагонов метро типа "И" и "Е", троллейбуса, трамвая, серии специального подвижного состава для транспортировки объектов ракетно-космической техники и др.

Разработано математическое и программное обеспечение для автоматизированной системы управления виброиспытаниями транспортных средств на испытательном стенде, позволяющем задавать детерминированные и случайные возмущения в трех плоскостях и испытывать любой железнодорожный вагон в сборе. Собраны и обобщены данные о реальных воздействиях со стороны пути.

Принято активное участие в разработке Технических требований к подвижному составу и пути для высокоскоростной железнодорожной магистрали "Центр – Юг", в исследованиях динамики высокоскоростных вагонов электропоезда ЭР-200, экспериментального поезда "Русская тройка" (200 км/ч), электропоездов ЭР-300 и ЭР-350 (300 и 350 км/ч), а также в выборе параметров и типов подвижного состава для высокоскоростной магистрали Москва – Санкт-Петербург, в разработке проекта Государственной научно-технической программы «Высокоскоростной железнодорожный транспорт Украины».

В последнее время особое внимание уделяется решению проблем снижения выхода из строя железнодорожных колес и рельсов, вызванного их интенсивным износом, и модернизации существующего подвижного состава с целью улучшения его динамических качеств. Разработана уточненная математическая модель взаимодействия железнодорожного колеса и рельса [9 – 11], позволяющая учесть ряд важных факторов, таких как конформность контакта, три фазы взаимодействия (в том числе двухточечный контакт), нелинейность сил крипа и т.п. На основе разработанных методов углубленных исследований динамического взаимодействия элементов сложных механических систем и их контактного взаимодействия с рельсовым деформируемым основанием усовершенствована пара "колесо – рельс" за счет изменения формы диска колеса, профилей колеса и головки рельса, что позволяет улучшить условия вписывания железнодорожных экипажей в криволинейные участки пути, снизить напряжения в зонах контакта колес и рельсов, уменьшить износ контактирующих тел, повысить их ресурс [12 – 16].

Выполнено детальное моделирование фрикционной клиновой системы рессорного подвешивания, которое позволяет учесть независимую работу всех восьми клиньев вагона. Использование такой усовершенствованной модели позволило впервые обнаружить явление заедания в системе «клин – надрессорная балка» [17 – 22]. Возникновение этого явления приводит к резкому и значительному росту нормальных реакций и, как следствие, других сил в системе. Разработаны способы его предупреждения при создании новых конструкций тележек. Обоснована необходимость использования упругих прокладок между клиньями и наклонной поверхностью надрессорных балок.

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований предложена комплексная модернизация типовых тележек модели 18-100, которые используются в грузовых вагонах на железных дорогах стран СНГ. В тележках заменены плохо работающие стандартные скользуны скользуна-

ми постоянного контакта; вместо стальных клиньев установлены клинья из высокопрочного чугуна; фрикционные планки заменены стальными износостойкими; изменен профиль обода колес на нелинейный износостойкий; в подпятнике установлены полимерные прокладки [23 – 26].

Результаты многочисленных динамических и эксплуатационных испытаний показали, что благодаря комплексной модернизации тележек 18-100 скорости вагонов могут быть увеличены на 20 – 40 км/ч (в зависимости от модели вагона), износ колес уменьшен в 2 и больше раз, в несколько раз уменьшен максимальный износ пятников и подпятников, в 10 раз увеличен ресурс фрикционной системы гашения колебаний. Первые 10 опытных вагонов с модернизированными тележками, которые были включены в 2000 году в маршрутный поезд с самыми сложными в Украине условиями эксплуатации (для перевозки руды из Кривого Рога в Словакию через Карпатский перевал), на сегодняшний день имеют пробег свыше 700 тыс. км. За 8 лет эксплуатации в этих вагонах не были заменены (или отремонтированы) ни один скользун, ни один клин, ни одна фрикционная планка, ни один пятник с подпятником.

С 2004 г. проводится широкомасштабное внедрение комплексной модернизации тележек грузовых вагонов на железных дорогах Украины. В настоящий момент модернизацию тележек выполняют на Крюковском вагоностроительном заводе при строительстве новых вагонов и на всех вагоноремонтных заводах Украины в период капитальных ремонтов вагонов. На сегодняшний день модернизировано больше 18000 тележек.

Отраслевой научно-исследовательской лабораторией Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта (ДНУЖТ) при участии ИТМ НАНУ и НКАУ закончены ходовые динамические испытания полувагонов, фитинговых платформ и вагонов-хопперов (цементовоза, зерновоза, минераловоза, окатышевоза) с комплексно модернизированными тележками. Полученные результаты показывают эффективность применения комплексной модернизации тележек для всех вышеназванных типов вагонов.

В настоящее время начата модернизация групп опытных вагонов на железных дорогах России и Казахстана, проводятся переговоры с железной дорогой Литвы. Имеется положительное решение Комиссии Совета по железнодорожному транспорту полномочных представителей стран СНГ и Балтии о возможности эксплуатации полувагонов с комплексно модернизированными тележками на железных дорогах этих стран, а также рекомендации Комиссии Совета железнодорожным администрациям стран СНГ и Балтии выполнять с 1 января в 2008 г. предложенную Украиной комплексную модернизацию тележек модели 18-100 при плановых ремонтах грузовых вагонов инвентарного парка.

На основе предложенной ИТМ НАНУ и НКАУ комплексной модернизации типовой тележки на Крюковском вагоностроительном заводе созданы впервые в Украине новые тележки модели 18-7020 и 18-7033 для грузовых вагонов нового поколения. На сегодняшний день в Украине уже эксплуатируются больше 1000 вагонов нового поколения с тележками модели 18-7020.

В ИТМ НАНУ и НКАУ выполнены теоретические исследования по выбору параметров ряда тележек новых конструкций. Это, в частности, тележки модели 18-4129 (разработка Украины) и ICG Motion Control (разработка США), предназначенные для эксплуатации со скоростями до 120 км/ч на же-

лезных дорогах колеи 1520 мм в грузовых вагонах с увеличенной до 245 кН нагрузкой от оси на рельсы. Полученные результаты использованы при выборе параметров указанных моделей тележек. Обе модели тележек успешно прошли ходовые динамические испытания.

Основная задача железнодорожного транспорта – обеспечение перевозочного процесса без потери груза, повреждения подвижного состава, нанесения ущерба здоровью пассажиров и обслуживающего персонала. Предупреждение аварийности на железнодорожном транспорте и обеспечение безопасности движения всегда были и остаются в числе приоритетных направлений деятельности в отрасли. Повышение безопасности движения подвижного состава железных дорог требует разработки надежных конструкций кузовов, обеспечивающих безопасность пассажиров и обслуживающего персонала при столкновениях. Разработка научно обоснованных технических решений по обеспечению безопасности движения железнодорожных экипажей базируется на исследовании динамической нагруженности, устойчивости и напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкций экипажей при эксплуатационных режимах движения и в аварийных ситуациях, вызванных сходом экипажей с рельсов, столкновением поездов или наездом поезда на преграду. Оценка НДС элементов конструкций железнодорожных экипажей при сверхнормативных воздействиях предполагает решение задачи анализа поведения транспортных конструкций за пределом упругости с учетом потери устойчивости и развития пластических деформаций вплоть до разрушения.

Несмотря на меры, предпринятые железными дорогами многих стран по повышению безопасности движения подвижного состава и надежности перевозочного процесса, уровень аварийности остается высоким. Особую тревогу вызывают аварийные ситуации, связанные с дорожно-транспортными происшествиями на железнодорожных переездах. Моделирование сценария столкновения поездов или наезда поезда на преграду и анализ динамической нагруженности железнодорожных экипажей при сверхнормативных ударных воздействиях являются важными и актуальными при разработке и создании надежных конструкций кузовов перспективных пассажирских вагонов и локомотивов.

Для решения перечисленных задач созданы нелинейные механические аналоги, разработаны методики, позволяющие с помощью методов математического моделирования оценить динамику поезда и отдельных вагонов, а также НДС элементов железнодорожных экипажей при эксплуатационных нагрузках и аварийных столкновениях с учетом специфики конкретного типа экипажа и перевозимого груза, работы перспективных поглощающих аппаратов автосцепок и целенаправленного контролируемого упругопластического деформирования элементов защиты, определить перегрузки и деформации, возникающие в элементах конструкций экипажей поезда при аварийном соударении, а также возможность схода с рельсов и последующего опрокидывания отдельных вагонов [5 – 8, 27 – 46]. Для исследования динамики поезда или его отдельных вагонов при сверхнормативных воздействиях, возникающих при столкновениях, используются как упрощенные расчетные схемы, так и конечно-элементные модели [27, 28, 33]. Взаимодействие вагонов в составе поезда моделируется силовой характеристикой межвагонного соединения, зависящей от вида ударно-тяговых устройств, которыми оборудованы

вагоны, и учитывающей возможность возникновения пластических деформаций элементов конструкций экипажей.

С использованием метода конечных элементов разработаны методики оценки НДС элементов конструкций железнодорожных экипажей, в том числе цистерн, оборудованных защитными устройствами, при эксплуатационных и сверхнормативных ударных воздействиях [34 – 39].

Для исследования динамических характеристик вагонов в составе поезда, движущегося по пути произвольного очертания, созданы математические модели пространственных колебаний железнодорожных экипажей различных типов, учитывающие все имеющиеся в системе нелинейности, в том числе “сухое трение”, геометрическое и физическое взаимодействие колеса и рельса, работу автосцепных устройств. Разработана уточненная модель взаимодействия колесной пары и рельсовой колеи в процессе схода экипажа с рельсов, учитывающая процесс вкатывания колеса на рельс и его падение на рельсошпальную решетку; уточнена методика моделирования пространственных колебаний отдельных экипажей, и составлена математическая модель движения сцепа вагонов на участках пути сложного профиля и плана [40]. При этом физическое и геометрическое взаимодействие колес и рельсов рассматривалось в соответствии с нелинейной теорией Калкера и теорией А. Д. де Патера [41]. Разработанные модели позволяют исследовать движение по переломам продольного профиля пути и по стрелочным переводам с возможностью контакта внешней поверхности колеса с контррельсом.

Разработаны методики оценки нагруженности элементов ракетно-космической техники при ее транспортировке по железной дороге.

Разработана математическая модель пространственных колебаний цистерны, частично заполненной жидким грузом [5]. Рассмотрены как малые (линейные), так и нелинейные колебания жидкости в котле вагона-цистерны, указаны границы их применения [5, 6, 42].

Создана экспериментальная база для исследования колебаний и нагруженности емкостей, частично заполненных жидкостью, при гармонических и ударных воздействиях. Разработано специализированное оборудование, позволяющее проводить исследование как натуральных баков, так и их физических моделей [6]. Для изготовления прозрачных моделей емкостей из органического стекла создана специальная установка, состоящая из набора матриц соответствующей формы, системы ламп накаливания для разогрева листов органического стекла и вакуумного насоса, обеспечивающего формирование обечайки бака в матрице. Для измерения колебаний свободной поверхности жидкости разработаны потенциометрические датчики уровня жидкости, обладающие высокой точностью измерений.

Проведены экспериментальные исследования особенностей колебаний жидкости в баках различной конфигурации при гармоническом возбуждении, исследованы процессы в баках, содержащих жидкость и вращающихся вокруг вертикальной оси, и гидродинамическая нагруженность баков с жидкостью при ударных возмущениях [6]. Рассмотрены резонансные режимы и характер сложных пространственных колебаний свободной поверхности жидкости в емкостях, имеющих форму тел вращения и отличающихся в несколько раз габаритными размерами в продольном и поперечном направлениях [43].

Разработаны теоретические основы создания бортовой системы диагностики технического состояния различных элементов движущегося состава

для предупреждения возникновения нештатных ситуаций [44, 45]. Использование такой системы в пассажирских поездах позволяет осуществлять мониторинг состояния колеи и ходовых частей на участках следования подвижного состава для предупреждения аварий.

Разработана конструкция предохранительного торцового щита с деформируемыми сотовыми элементами, выполнен анализ НДС элементов конструкции, и проведена ее экспериментальная отработка с помощью натуральных испытаний вагона-цистерны при соударении его с вагоном-бойком, оборудованным дополнительной автосцепкой, позволяющей осуществлять удары в днище котла [36 – 39]. В результате проведенных исследований изготовлена, испытана и внедрена в производство на ОАО «Мариупольский завод тяжелого машиностроения» конструкция вагона-цистерны модели 15-9503 АВП, днища котла которой оборудованы торцовыми предохранительными щитами с сотовыми энергопоглощающими элементами.

Разработаны методика и трехмерные конечно-элементные математические модели для нелинейного динамического анализа упругопластического деформирования элементов, предназначенных для пассивной защиты локомотивов и пассажирских вагонов [30, 46] при аварийных столкновениях. Методика основана на синтезе автоматизированного геометрического конструирования и конечно-элементного моделирования. Математические модели позволяют учесть физическую нелинейность материала в рамках деформационной теории пластичности и влияние скорости деформаций на физико-механические характеристики используемых материалов, геометрическую нелинейность, описывающую большие перемещения элементов защитной конструкции, контактное взаимодействие между элементами преграды и защитных конструкций, а также между элементами самих защитных конструкций, разрушения элементов пассивной защиты при ударе. Для описания упругопластических свойств материала использована билинейная зависимость напряжений от деформаций с учетом кинематического упрочнения. Точка перелома такой двухзвенной кусочно-линейной кривой соответствует динамическому пределу текучести, который зависит от скорости деформации. Для вычисления динамического предела текучести заданных материалов используется зависимость Саймондса – Купера. В качестве критерия разрушения выбрано условие превышения эквивалентными деформациями заданного значения предельной пластической деформации на разрыв.

По целому ряду вопросов, касающихся решения задач динамики машиностроительных и транспортных конструкций, отделами статистической динамики механических систем и динамики многомерных механических систем поддерживается сотрудничество с Государственным конструкторским бюро «Южное», ДНУЖТ, Институтом математики НАН Украины, Санкт-Петербургским государственным университетом путей сообщения, Государственным украинским научно-исследовательским институтом вагоностроения, Всероссийским научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта, Королевским технологическим институтом (Швеция), Римским университетом Ла Сапиенца (Италия), Дельфтским технологическим университетом (Нидерланды), Европейским институтом исследований железнодорожного транспорта (Нидерланды), Берлинским техническим университетом (Германия), Метрополитен университетом г. Манчестера (Великобритания). Проводится активное сотрудничество по вопросам совершенст-

вования конструкций подвижного состава с компаниями «A. Stucki» и «Amsted Rail» (США), Крюковским вагоностроительным заводом, Мариупольским ОАО «Азовмаш», ОАО «Лугансктепловоз», Дарницким вагоноремонтным заводом, а также с другими организациями стран СНГ и дальнего зарубежья.

1. Ушкалов В. Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей / В. Ф. Ушкалов, Л. М. Резников, С. Ф. Редько. – Киев : Наук. думка, 1982. – 360 с.
2. Ушкалов В. Ф. Математическое моделирование рельсовых транспортных средств / В. Ф. Ушкалов, Л. М. Резников, В. С. Иккол, Е. Ю. Трубицкая, С. Ф. Редько, А. И. Залесский. – Киев : Наук. думка, 1989. – 240 с.
3. Редько С. Ф. Идентификация механических систем. Определение динамических характеристик и параметров / С. Ф. Редько, В. Ф. Ушкалов, В. П. Яковлев. – Киев : Наук. думка, 1985. – 216 с.
4. Korenev B. G. Dynamic Vibration Absorbers. Theory and Technical Applications. / B. G. Korenev, L. M. Reznikov. – Chichester : J. Wiley and Sons, 1993. – 304 с.
5. Богомаз Г. И. Динамика железнодорожных вагонов-цистерн / Г. И. Богомаз – Киев : Наук. думка, 2004. – 223 с.
6. Богомаз Г. И. Колебания жидкости в баках (методы и результаты экспериментальных исследований) / Г. И. Богомаз, С. А. Сирота. – Днепропетровск : НАН Украины и НКА Украины, Институт технической механики, 2002. – 306 с.
7. Демин Ю. В. Динамика машиностроительных и транспортных конструкций при нестационарных воздействиях / Ю. В. Демин, Г. И. Богомаз, Н. Е. Науменко. – Киев : Наук. думка, 1995. – 188 с.
8. Богомаз Г. И. Динамика старта жидкостных ракет-носителей космических аппаратов / Г. И. Богомаз, Н. Е. Науменко, М. Б. Соболевская, И. Ю. Хижа. – Киев : Наук. думка, 2005. – 248 с.
9. Ushkalov V. F. Creep forces identification in a car wheel-rail contact point / V. F. Ushkalov, S. F. Red'ko, I. A. Serebriany // Ingegneria Ferroviaria. – 1998. – 11. – P. 769 – 778.
10. Ushkalov V. F. On Effect of Bogie Construction on Dynamic Performance of Railway Vehicles and Their Wheel-Wear / V. F. Ushkalov, T. F. Mokriy, I. Y. Shevtsov // Proceedings of the 4 th International Conference on Railway Boggies and Running Gears. – Budapest, Hungary, 1998. – P. 223 – 232.
11. Ushkalov V. F. Effect of the Wheel Profile on Dynamics of rail vehicle and Wear of the Wheel/Rail Contact Pair / V. F. Ushkalov // Proc. of International Heavy Haul Association STS-conference "Wheel/Rail Interface". – 1999. – Vol. 1. – P. 87 – 94.
12. Ушкалов В. Ф. Влияние условий контакта колес с рельсами на динамические качества грузовых вагонов / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрий, И. А. Мащенко, И. Е. Шевцов // Техническая механика. – 2002. – № 1. – С. 146 – 152.
13. Ушкалов В. Ф. Об оценке эффективности использования колес с разными профилями ободьев в железнодорожных вагонах / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрий, И. А. Мащенко, И. Ю. Малышева // Техническая механика. – 2002. – № 2. – С. 121 – 127.
14. Ушкалов В. Ф. Создание новых профилей обода железнодорожных колес для снижения их износа при использовании в типовых тележках ЦНИИ-ХЗ / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрий, И. А. Мащенко, И. Е. Шевцов // Техническая механика. – 2002. – №2. – С. 132 – 138.
15. Ушкалов В. Ф. Влияние на динамические качества полувагонов с тележками модели 18-100 замены стандартного профиля колес профилем ИТМ-73 / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрий, И. Ю. Малышева, И. А. Мащенко, Д. И. Грищенко // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вып. 11. – С. 167 – 170.
16. Ушкалов В. Ф. Разработка рационального профиля головки рельса с несимметричной поверхностью катания / В. Ф. Ушкалов, И. А. Серебряный, И. В. Подъяельников // Техническая механика. – 2008. – №1. – С. 31 – 37.
17. Ushkalov V. F. Investigation of Dynamics in a Subsystem "Bogie Beam – Wedges – Bogie Side" of the Bogie / V. F. Ushkalov, M. M. Zhechev // International Applied Mechanics. – 2002. – Vol. 38, № 11. – P. 137 – 144.
18. Жечев М. М. Численное моделирование динамики систем с кулоновым трением / М. М. Жечев // Техническая механика. – 2003. – № 1. – С. 101 – 106.
19. Ушкалов В. Ф. Зависимость сил трения в фрикционном демпфере от вертикального перемещения надрессорной балки / В. Ф. Ушкалов, М. М. Жечев, И. А. Серебряный, М. В. Скатенок // Техническая механика. – 2003. – № 2. – С. 109 – 120.
20. Ушкалов В. Ф. Явление “jamming” в динамике вагона с тележками 18–100 / В. Ф. Ушкалов, М. М. Жечев, А. Д. МакКисик // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – № 2. – С. 9 – 13.
21. Жечев М. М. Необходимые условия “wedging” (“заклинивания”) в системах с кулоновым трением / М. М. Жечев, М. В. Скатенок // Техническая механика. – 2004. – № 1. – С. 31 – 39.
22. Ushkalov V. F. Possibility of jamming and wedging in the three-piece trucks of a moving freight car / V. F. Ushkalov, M. M. Zhechev, A. D. McKisic // Vehicle System Dynamics. – 2007. – Vol. 45, № 1. – P. 61 – 76.
23. Ушкалов В. Ф. Модернізація ходових частин вантажних вагонів / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрий, М. М. Жечев, І. О. Серебряний, І. Ю. Малышева // Залізничний транспорт України. – 2003. – № 5. –

- С. 33 – 36.
24. Ушкалов В. Ф. Комплексная модернизация тележек грузовых вагонов – путь к улучшению взаимодействия колес и рельсов / В. Ф. Ушкалов // Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути : научно-практическая конференция, 2003, Щербинка, Россия. – 2003. – С. 43 – 46.
 25. Gregg Hansen W. M. Комплексная модернизация тележек 18-100 для снижения износа колес и повышения ходовых качеств грузовых вагонов / W. M. Gregg Hansen, А. Д. Лашко, В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрый, И. Ю. Малышева, И. А. Мащенко // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна. – 2004. – Вып. 5. – С. 215 – 219.
 26. Ушкалов В. Ф. Комплексная модернизация ходовых частей грузовых вагонов / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрый, И. Ю. Малышева, И. А. Мащенко, С. С. Пасичник // Вагонный парк. – 2007. – № 2. – С. 18 – 22.
 27. Богомаз Г. И. Конечно-элементный подход к исследованию динамики конструкций, содержащих емкости с жидкостью / Г. И. Богомаз, Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа // Питання прикладної математики і математичного моделювання : Збірник наукових праць. – Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2002. – С. 14 – 21.
 28. Богомаз Г. И. Оценка динамической нагруженности элементов конструкции вагона-цистерны, оборудованного торцевыми щитами, при аварийных соударениях / Г. И. Богомаз, Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа и др. // Збірник наукових праць Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту : Транспорт. – 2006. – Вып. 7. – С. 32 – 34.
 29. Богомаз Г. И. Оценка параметров аппарата АПМ-110-К-23 грузового вагона при ударных нагружениях / Г. И. Богомаз, В. М. Бубнов, Н. Е. Науменко и др. // Техническая механика. – 2006. – Вып. 2. – С. 64 – 68.
 30. Богомаз Г. И. Повышение безопасности пассажирского поезда при аварийных ситуациях / Г. И. Богомаз, А. Д. Лашко, О. А. Шкабров и др. // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 4. – С. 44 – 48.
 31. Богомаз Г. И. Оценка параметров фрикционно-полимерного поглощающего аппарата / Г. И. Богомаз, В. М. Бубнов, Н. Е. Науменко и др. // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 6. – С. 48 – 50.
 32. Богомаз Г. И. Оценка влияния силовой характеристики поглощающего аппарата на динамику вагона-цистерны при соударении с преградой / Г. И. Богомаз, Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа // Техническая механика. – 2007. – № 2. – С. 125 – 133.
 33. Науменко Н. Е. Оценка влияния уровня заполнения котла цистерны жидким грузом на нагруженность конструкции вагона-цистерны при соударении / Н. Е. Науменко, Е. Г. Богомаз // Техническая механика. – 2008. – № 1. – С. 93 – 99.
 34. Богомаз Г. И. Динамическая нагруженность элементов конструкций вагонов-цистерн при аварийных ударах в днище / Г. И. Богомаз, В. А. Волков, М. Б. Соболевская // Транспорт : Сборник научных работ. Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта. – 2000. – Вып. 6. – С. 48 – 51.
 35. Богомаз Г. И. Особенности математического моделирования напряженно-деформированного состояния элементов железнодорожных цистерн при сверхнормативных ударных воздействиях в днище / Г. И. Богомаз, В. А. Волков, М. Б. Соболевская и др. // Математическое моделирование в инженерных и финансово-экономических задачах транспорта. Серия : Транспорт : Сборник научных работ. – 2000. – Вып. 5. – С. 25 – 30.
 36. Богомаз Г. И. Оценка параметров средств защиты днищ котлов железнодорожных цистерн при аварийных воздействиях / Г. И. Богомаз, В. М. Бубнов, В. А. Волков и др. // Техническая механика. – 2000. – Вып. 1. – С. 135 – 143.
 37. Волков В. А. Декларационный патент на корисну модель № 3720 Україна, МПК7 В 61 D 5/00. Залізнична цистерна / В. А. Волков, В. М. Бубнов, Г. І. Богомаз та інші. – ТОВ “Головне спеціалізоване конструкторське бюро вагонобудування”, ВАТ “Маріупольський завод важкого машинобудування”, ВАТ “Азовзагальмаш” – № 2004021252 ; Заявл. 20.02.2004 ; Опубл. 15.12.2004 ; Бюл. № 12, 2004. – 4 с.
 38. Волков В. А. Патент на полезную модель № 43516 Россия, МПК7 В 61 D 5/00. Железнодорожная цистерна / В. А. Волков, В. М. Бубнов, Г. И. Богомаз и др. – “Головное специализированное конструкторское бюро вагоностроения” (UA), ОАО “Маріупольський завод тяжелого машиностроєння” (UA), ОАО “Азовобщємаш” (UA) – № 2004105974 ; Заявл. 26.02.2004 ; Опубл. 27.01.2005 ; Бюл. № 3, 2005. – 4 с.
 39. Волков В. А. Разработка газовых цистерн нового поколения, оборудованных защитными устройствами повышенной энергоемкости / В. А. Волков, В. М. Бубнов, Г. И. Богомаз и др. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2004. – Вып. 5. – С. 56 – 60.
 40. Богомаз Г. Влияние состояния ходовых частей экипажа на его динамические характеристики / Г. Богомаз, Е. Ковтун, О. Маркова, В. Малый // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты : Сборник научных статей. – Санкт-Петербург, 2005. – С. 154 – 161.
 41. Markova O. A comparison of various theories on the interaction between wheel and rail / O. Markova, E. Kovtun // Supplement to Vehicle System Dynamics. – 2000. – V. 33. – P. 629 – 640.
 42. Ковтун Е. Оценка динамических характеристик вагонов-цистерн с разным уровнем недолива / Е. Ковтун, В. Малый, О. Маркова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – Дніпропетровськ, 2008. – Вып. 23 – С. 33 – 37.
 43. Богомаз Г. И. Развитие сложных пространственных колебательных движений жидкости в цилиндрическом баке при резонансном возбуждении системы “конструкция бака – жидкость” / Г. И. Богомаз,

- С. А. Сирота, И. Д. Блоха, А. Д. Николаев* // Техническая механика. – 2007. – № 1. – С. 81 – 89.
44. *Богомаз Г. И.* Диагностика состояния ходовых частей рельсовых экипажей в процессе движения / *Г. И. Богомаз, Е. Н. Ковтун, О. М. Маркова и др.* // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2004. – Вып. 5. – С. 17 – 20.
45. *Bogomaz G.* Determination of derailment stability coefficient values for development of online diagnostic system for passenger train motion safety / *G. Bogomaz, H. Kovtun, O. Markova, V. Maliy, V. Raznocilin* // 18th IAVSD Symposium Dynamics of vehicles – Tokyo ; 2003. – P. 299 – 301.
46. *Соболевская М. Б.* Нелинейный динамический анализ деформирования металлических конструкций защиты железнодорожных экипажей при аварийных столкновениях / *М. Б. Соболевская, С. А. Сирота, Ю. А. Клык* // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К. : Видавництво “Сталь”, 2009. – Вип. 3. – С. 221 – 231.

Институт технической механики
НАН Украины и НКА Украины,
Днепропетровск

Получено 22.09.09,
в окончательном варианте 23.09.09