



Брянский гос. техн. университет  
Лаборатория вычислительной механики  
Тел., факс: (4832) 568637  
E-mail: [um@umlab.ru](mailto:um@umlab.ru)  
Web: [www.umlab.ru/index\\_rus.htm](http://www.umlab.ru/index_rus.htm)

## **Использование программного комплекса «Универсальный механизм» для анализа динамики железнодорожных экипажей**

В данном документе рассматривается накопленный опыт использования программного комплекса «Универсальный механизм» (ПК УМ) и дается его сравнение с другими программными комплексами.

### **Опыт использования**

Пользователями программного комплекса «Универсальный механизм» являются следующие отечественные и зарубежные предприятия и организации железнодорожной отрасли:

- ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта МПС (ВНИИЖТ), г. Москва, Россия,
- ФГУП Всероссийский научно-исследовательский конструкторско-технологический институт МПС (ВНИКТИ), г. Коломна, Россия,
- ФГУП Центральное конструкторское бюро транспортного машиностроения (ЦКБ ТМ), г. Тверь, Россия,
- Государственный научно-исследовательский центр железнодорожного транспорта Украины (ДНДЦ УЗ), г. Киев, Украина
- ФГУП «ПО Уралвагонзавод», г. Нижний Тагил, Россия,
- ЦНИИ «ТрансЭлектроПрибор», г. Санкт-Петербург, Россия,

- ОАО ВЭЛНИИ, г. Новочеркасск, Россия,
- ОАО «Метровагонмаш», г. Мытищи, Россия,
- ООО «Трансолушенз СНГ», г. Москва, Россия,
- ООО «Уральские локомотивы», г. Верхняя Пышма, Свердловская обл., Россия,
- Компания AmstedRail, США,
- Компания Sifang Rolling Stock Research Institute, г. Чиндао, Китай,
- Локомотивостроительная компания VOSSLOH Espania, S.A., г. Валенсия, Испания,
- Локомотиво- и вагоностроительная компания "INKA - Indonesian Railway Industry", Индонезия,
- Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), г. Москва, Россия,
- Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Россия,
- Уральский государственный университет путей сообщения МПС (УрГУПС), г. Екатеринбург, Россия,
- Российский государственный открытый технический университет путей сообщения МПС (РГОТУПС), г. Москва, Россия,
- Иркутский государственный университет путей сообщения МПС (ИрГУПС), г. Иркутск, Россия,
- Дальневосточный государственный университет путей сообщения МПС (ДвГУПС), г. Хабаровск, Россия,
- Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения, г. Санкт-Петербург, Россия,
- Самарская государственная академия путей сообщения, г. Самара, Россия,
- Брянский государственный технический университет (БГТУ), г. Брянск, Россия,
- Южно-Российский государственный технический университет, г. Новочеркасск, Россия,

- Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днепропетровск, Украина,
- Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины, г. Днепропетровск, Украина,
- Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, г. Вильнюс, Литва,
- Силезский политехнический университет, г. Катовице, Польша,
- Радомский политехнический университет, г. Радом, Польша,
- Marmara Research Center, г. Стамбул, Турция,
- Сеульский национальный университет, г. Сеул, Корея,
- Восточно-китайский университет транспорта, г. Нанчанг, Китай,
- Shijianzhuang Tiedao University, г. Шиджиажуанг, Китай.

28 ноября 2007 г. в Департаменте технической политики ОАО РЖД состоялось заседание секции научно-технического совета, решением которого программа «Универсальный механизм» будет официально использоваться в качестве инструмента компьютерного анализа случаев схода подвижного состава из-за вкатывания колеса на рельс. В 2008 г. по заказу ОАО РЖД совместно с ОАО ВНИИЖТ выполнен комплекс научно-исследовательских работ по теме «Технология моделирования условий схода подвижного состава (с применением программного комплекса «Универсальный механизм»)». Разработанная на базе УМ экспертная система установлена для анализа сходов в ОАО ВНИИЖТ и на Московской железной дороге.

С использованием ПК «Универсальный механизм» выполнены в частности следующие исследования:

- Разработка совместно с ФГУП ВНИКТИ базы данных компьютерных моделей локомотивов России, включающей 17 локомотивов разных типов, 2006 г.

- Анализ динамики и выбор рациональных параметров вагона для перевозки автомобилей по заказу ЗАО «ВКМ-Инжиниринг», г. Москва, 2006 г.
- Анализ динамики и выбор рациональных параметров новой трехэлементной тележки по заказу ФГУП ПО Уралвагонзавод, 1999 г. Исследования проводились совместно с кафедрой “Вагоны” Уральского государственного университета путей сообщения.
- Анализ динамики и выбор оптимальных параметров проектируемых российских магистральных тепловозов ТА25, ТА35 по заказу ОАО БМЗ-Тепловоз, 2001–2004 гг.
- Анализ динамики и выбор рациональных параметров новой грузовой трехэлементной тележка по заказу ФГУП ВНИКТИ, 2001 г.
- Исследование ситуаций, приводящих к сходу грузовых вагонов с рельсов путем всползания, по заказу ФГУП ВНИИЖТ, 2001–2007 гг.
- Анализ динамики и выбор рациональных параметров проектируемого электровоза ЭП2к по заказу ОАО Коломенский завод, 2004 г.
- Поиск оптимальных профилей колес грузовых вагонов на базе тележки модели 18-100 с учетом показателей устойчивости вагона, износа колес и рельсов и максимальных контактных давлений по заказу ФГУП ВНИИЖТ, 2003 г.
- Исследование ходовой динамики и выбор рациональных параметров ходовой части проектируемого электровоза 2ЭС4К. Исследование проводилось совместно с ФГУП ВНИКТИ МПС, 2004 г.
- Развитие динамических моделей рельсовых экипажей с целью исследования трибодинамических процессов по заказу ФГУП ВНИИЖТ, 2005 г.
- Исследование динамики и усталостной долговечности длиннобазных платформ по заказам российских предприятий (задание ОАО РЖД), 2006 г.

- Поиск оптимальных ремонтных профилей рельсов после шлифования и прогнозирование срока их службы по заказу ФГУП ВНИКТИ, 2001–2002 гг.
- Экспертизы случаев схода вагонов и локомотивов, 2003–2007 гг.
- Разработка уточненной модели коэффициента запаса устойчивости и методики измерения сил взаимодействия колеса с рельсом с помощью тензометрической колесной пары по заказу ФГУП ВНИИЖТ, 2004–2006 гг.
- Математическое моделирование влияния ширины рельсовой колеи на процессы взаимодействия грузового вагона и пути по заказу ОАО ВНИИЖТ, 2007–2008 гг.
- Разработка уточненной модели грузового вагона на трехэлементных тележках. Создание унифицированной модели трехэлементной тележки в составе модели грузового вагона с возможностью использования её для моделирования тележек типа 18-100 и тележек содержащих, боковые упруго-роликовые опоры, билинейное рессорное подвешивание, буксовые адаптеры. По заказу ОАО НПО Уралвагонзавод, 2008 г.
- Научно-исследовательская работа «Разработка технологии моделирования условий схода подвижного состава с использованием программы для ЭВМ «Универсальный механизм»». Заказчик: ВНИИЖТ, Генеральный заказчик: ОАО РЖД, 2008–2009 гг.
- Разработка моделей локомотива, вагонов и поезда для железнодорожного тренажера по заказу Marmara Research Center, г. Стамбул, Турция, 2009–2010 гг.

За время использования ПК «УМ» были разработаны более 40 моделей железнодорожных экипажей, среди которых можно отметить следующие: локомотив ТЭП80 (Коломенский завод, 1993 г.), автомотриса АС4 (1993 г.), 120-тонная восьмиосная цистерна (Коломенский завод, 1995 г.), локомотив ТЭП70 (Коломенский завод, 1995 г., модель модифицирована в 2004 г.), ТЭ116 (1995 г.), локомотив ТЭП70 (Коломенский завод, 1996 г.), маневровый тепловоз ТЭМ21

(БМЗ, 2002 г.), дизель-поезд ДР1 (кафедра «Вагоны» БГТУ, 2003 г.), вагон метро модели 81-717 и трамвай 71-608 (ЗРЭПС, 2003 г.), электровоз ВЛ80 (2003 г.), в том числе модели поездов. В сотрудничестве с Южнороссийским государственным техническим университетом разработаны электромеханические модели электровозов ЭП10, ЭП200. В 2006 г. совместно с ВНИКТИ МПС разработана компьютерная база моделей 17 локомотивов.

Большой популярностью среди исследователей пользуется модель грузового вагона с тележками 18-100 и их модификаций. В 2007–2008 г. по заказу ОАО РЖД проводится исследования по влиянию ширины колеи на динамические процессы и безопасность движения. Из 7 российских организаций, привлеченных для исследований методами компьютерного моделирования, 5 используют ПК «УМ» и модель грузового вагона, созданную разработчиками программы.

В 2008–2009 годах по заказу ОАО РЖД на базе УМ разработана и принята в опытную эксплуатацию в ОАО ВНИИЖТ и на Московской железной дороге экспертная система анализа случаев схода составов с рельсов.

## Научный потенциал

По результатам разработки и с использованием ПК «Универсальный механизм» были защищены докторские диссертации Погорелова [10], Коссова [6], Павлюкова [9]; кандидатские диссертации Дмитроченко [1], Языкова [13], Загорского [4], Селенского, Галичева [3], Ковалева [5], Михеева [8], Юдаковой, Мелкумовой (МГУ им. М.В. Ломоносова). Научные исследования группы разработчиков ПК УМ в течение девяти лет поддерживаются Российским фондом фундаментальных исследований и Министерством образования РФ по программе «Университеты России – фундаментальные исследования». За последние пять лет группой разработчиков опубликовано более 40 научных работ.

## Верификация программного комплекса

В процессе работы с ПК «Универсальный механизм» был поставлен целый ряд натурных экспериментов, в том числе независимыми исследователями.

Так в работах В.И. Сакало и В.С. Коссова [6, 12] рассматривается динамика локомотива ТЭ116 и отмечается, что «достигнута удовлетворительная сходимость теоретических и экспериментальных значений всех рассматриваемых показателей, в том числе рамных сил. Расхождение результатов моделирования и эксперимента для прямых и кривых участков пути не превышает 15%».

В работе А.Э. Павлюкова и др. [11] проводились эксперименты с грузовой тележкой типа 18-100. Отмечается сходимость в пределах 10%. В работе [2] рассмотрена «проблема представления тонкого упругого стержня системой шарнирно связанных абсолютно твердых тел с целью достоверного определения положений равновесия, собственных частот и форм колебаний стержня с учетом геометрической нелинейности». Сравнение результатов численных и натурных экспериментов показало, что первые собственные частоты колебаний балки совпадают с точностью 1–2%».

В материале [7] приводятся результаты моделирования так называемых Манчестерских тестовых примеров, которые были разработаны в 1998 г. с целью сравнения программного обеспечения для исследования динамики рельсовых

экипажей между собой. Подробную информацию об этих тестах можно получить по адресу [www.sci-eng.mmu.ac.uk/rtu/research01.htm](http://www.sci-eng.mmu.ac.uk/rtu/research01.htm). В настоящее время Манчестерский тест является одним из основных в области моделирования динамики рельсовых экипажей. Тестовые расчеты выполнены программами ADAMS/Rail, MEDYNA, GENSYS, NUCARS, SIMPACK и VAMPIRE и опубликованы в монографии [14]. Как следует из [7], результаты UM и ADAMS/Rail очень близки как с качественной, так и с количественной точки зрения. Различия между результатами тестов UM и SimPack более значительны, хотя и совпадают качественно.

## Сравнение с аналогами: возможности

Дадим сравнительную характеристику ПК УМ и наиболее широко распространенному пакету ADAMS/Rail. К преимуществам ПК УМ можно отнести следующие моменты.

- Скорость проведения численных экспериментов. Сравнение результатов для Манчестерских тестовых примеров показывает, что УМ в среднем в десять раз быстрее ADAMS/Rail.
- Возможность полной параметризации моделей. Это значительно повышает скорость и надежность работы исследователя при варьировании параметров системы.
- Полностью русскоязычные руководство пользователя и интерфейс программы.
- Точность определения и расчета в случае двухточечного контакта колесо–рельс. Двухточечный контакт, широко распространенный в России, на Западе встречается достаточно редко, что приводит к недостаточной проработанности случая двухточечного контакта в западном ПО. По крайней мере известно, что ADAMS/Rail имеет определенные проблемы (например, скачок суммарной вертикальной силы при переходе от одноточечного к двухточечному контакту) в случае применения профилей двухточечного контакта.
- Синтез уравнений движения в символьной форме. Позволяет оптимизировать код уравнений движения по скорости исполнения и ввести параметризацию моделей.
- Анимация движения механической системы и построение графиков непосредственно в процессе расчета. В ADAMS/Rail, как и в других программах-аналогах, сначала производится расчет, а затем его визуализация, что весьма неудобно, особенно на этапе отладки модели.
- Программа дорабатывается в соответствии с требованиями заказчика. Добавляются новые интерфейсные возможности и новые типы силовых элементов.

## Рекомендации

Независимые мнения о ПК «Универсальный механизм» в конфигурации, предназначенной для моделирования рельсовых экипажей, можно получить у следующих лиц:

- Черкашин Юрий Михайлович, к.т.н., главный научный сотрудник ВНИИЖТ, тел. (495) 2872161;
- Коссов Валерий Семенович, д.т.н., директор ВНИКТИ МПС, тел. (496) 6154748;
- Алейников Игорь Аркадьевич, д.т.н., ООО «Трансолушнз СНГ», тел. (495) 9692669;
- Даниленко Денис Викторович, начальник отдела прочности, ФГУП «ПО Уралвагонзавод», тел. (3435) 344423;
- Дзюбан Оксана Леонардовна, начальник бюро расчетов, ОАО «Метровагонмаш», тел. (495) 5825665;
- Кобищанов Владимир Владимирович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Вагоны» БГТУ, тел. (4832) 560466;
- Котов Сергей Викторович, ООО «Уральские локомотивы», тел. (34337) 94122;
- Михальченко Георгий Сергеевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Локомотивы» БГТУ, тел. (4832) 560261;
- Павлюков Александр Эдуардович, д.т.н., профессор, декан УрГУПС;
- Ромен Юрий Семенович, д.т.н., проф., тел. (495) 1801262;
- Ситаж Марек, д.т.н., профессор, зав. кафедрой рельсовых экипажей Силезского технического университета, директор европейского центра TRANSMEC, тел. + 48 32 6034148.
- Федосеев Юрий Петрович, к.т.н., проф., зав. кафедрой «Вагоны» ДВГУПС, тел. (4212) 359156.

## Список литературы

1. Дмитроченко О.Н. Эффективные методы численного моделирования динамики нелинейных систем абсолютно твердых и деформируемых тел. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук, МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2003.
2. Дмитроченко О.Н., Михайлов Н.Н., Погорелов Д.Ю. Моделирование геометрически нелинейных упругих стержневых систем на основе подхода систем твердых тел. Динамика и прочность транспортных машин, БГТУ, Брянск, 1997.
3. Галичев А.Г. Влияние триботехнического состояния колес и рельсов на динамику движения грузового тепловоза в режимах выбега и тяги. Дисс. ... канд. техн. наук, Брянский гос. техн. ун-т. – Брянск, 2002.
4. Загорский М.В. Обоснование конструкции и параметров экипажной части перспективного четырехосного тепловоза по тяговым и динамическим показателям. Дисс. ... канд. техн. наук. Брянск, 2003.
5. Ковалев Р.В. Разработка и реализация эффективных методик компьютерного исследования динамики и оптимизации параметров ходовых частей железнодорожных экипажей. Дисс. ... канд. техн. наук. Брянск, 2004.
6. Коссов В.С. Снижение нагруженности ходовых частей локомотива и пути. Дисс. ... д-ра техн. наук. Коломна, 2001.
7. Манчестерские тесты для моделирования рельсовых экипажей. Руководство пользователя к ПК «Универсальный механизм». <http://www.umlab.ru/download/docs/rus/part10.pdf>
8. Михеев Г.В. Компьютерное моделирование динамики систем абсолютно твердых и упругих тел, подверженных малым деформациям. Дисс. ... канд. техн. наук. Брянск, 2004.
9. Павлюков А.Э. Прогнозирование нагруженности ходовых частей грузовых вагонов повышенной грузоподъемности методами имитационного моделирования. Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Уральский гос. ун-т путей сообщения. – Екатеринбург, 2002.

10. Погорелов Д.Ю. Моделирование механических систем с большим числом степеней свободы. Численные методы и алгоритмы. Дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. – МГУ им. М.В. Ломоносова, 1994.
11. Погорелов Д.Ю., Павлюков А.Э., Юдакова Т.А., Котов С.В. Моделирование контактных взаимодействий в задачах динамики систем тел / Динамика, прочность и надежность транспортных машин: Сб. науч. тр. / Под ред. В.И. Сакало. Брянск: БГТУ, 2001. – С. 11–23.
12. Сакало В.И., Коссов В.С. Контактные задачи железнодорожного транспорта. – М.: Машиностроение, 2004. – 496 с., ил.
13. Языков В.Н. Применение модели негерцевского контакта колеса с рельсом для оценки динамических качеств и показателей износа колес грузового тепловоза. Дисс. ... канд. техн. наук, Брянский гос. техн. ун-т. – Брянск, 2004.
14. Iwnicki, Simon D. The Manchester benchmarks for rail vehicle simulation / ed. by S. Iwnicki. - Lisse: Swets & Zeitlinger, 1999. – 199 p.