

ООО «Вычислительная механика»



universal
mechanism

ООО «Вычислительная механика»
241525, Брянская область, Брянский район, с. Глинищево,
ул. Восточная 2-14
Тел.: +7 (4832) 56-86-37
Email: um@umlab.ru
Web: www.umlab.ru
ИНН 3245505205, ОКПО 63344137, ОГРН 1093254014105

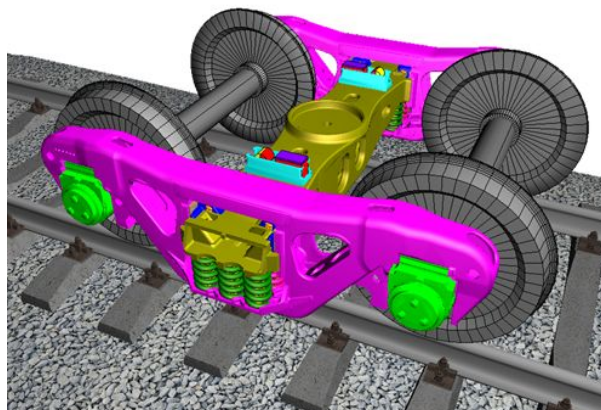
Опыт использования

программного комплекса «Универсальный механизм»
для моделирования динамики ж.-д. экипажей

21 января 2021 г.

Обзор программы

Программный комплекс «Универсальный механизм» (УМ) включает в себя специализированный модуль для моделирования динамики железнодорожных экипажей: локомотивов, пассажирских и грузовых вагонов, путевых машин.



Моделирование производится во временной области. С помощью УМ можно создавать полностью параметризованные модели: задавать с помощью идентификаторов или выражений инерционные и геометрические параметры, а также основные характеристики силовых элементов, например, жесткости пружин, коэффициенты диссипации гасителей, коэффициенты трения в контактах и так

далее. При необходимости, для уточнения результатов моделирования и/или для

решения задач долговечности отдельные элементы конструкции, например хребтовые балки и кузова вагонов, могут быть представлены в виде упругих тел. Программа позволяет рассчитывать динамику ж.-д. экипажей в полной пространственной постановке, в прямых и кривых участках пути, с учетом и без учета неровностей путевой структуры с одновременным расчетом переменных, характеризующих динамические показатели ж.-д. экипажей: ускорения произвольных точек любого тела, коэффициенты динамики, усилия в тягах и поводках, рамные силы, силы в контакте колеса и рельса, факторы износа, коэффициенты безопасности и так далее.

За время использования УМ были разработаны более 60 моделей железнодорожных экипажей, в том числе 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.), вагон метро модели 81-717 и трамвай 71-608 (ЗРЭПС, 2003 г.), электровоз ВЛ80 (2003 г.) и другие. В сотрудничестве с ЮрГТУ были разработаны электромеханические модели электровозов ЭП10, ЭП200. В 2006 г. совместно с ВНИКТИ разработана компьютерная база моделей 17 локомотивов.

Большой популярностью среди исследователей пользуется модель грузового вагона с тележками 18-100 и другими трехэлементными тележками. В 2007–2008 г. по заказу ОАО РЖД было проведено исследование по влиянию ширины колеи на динамические процессы и безопасность движения. Из 7 российских организаций, привлеченных для исследований методами компьютерного моделирования, 5 использовали 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.

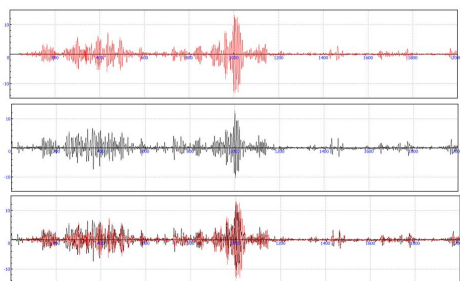
Верификация программы

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

Так в работах В.И. Сакало и В.С. Коссова [4, 10] 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. [9] проводились эксперименты с грузовой тележкой типа 18-100. Отмечается сходимость в пределах 10%.

В материале [5] 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, а также тестовые расчеты выполненные в ADAMS/Rail, MEDYNA, GENSYNS, NUCARS, SIMPACK и VAMPIRE опубликованы в монографии [12]. В настоящее время Манчестерский тест является одним из основных в области моделирования динамики рельсовых экипажей. Результаты UM и ADAMS/Rail и SimPack очень близки как с качественной, так и с количественной точки зрения [5].



В 2019 году было проведено сравнение динамического отклика грузового вагона с нагрузкой 40 т/ось на пути с единичной вертикальной неровностью для компании Rio Tinto, Австралия. Сравнение показало совпадение результатов натуральных испытаний и компьютерного эксперимента в пределах 10%. На рисунке слева **красным** показаны результаты натурального эксперимента, **чёрным** - компьютерного моделирования.

Пользователи УМ в России и ближнем зарубежье

- [АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» \(ВНИИЖТ\)](#), г. Москва;
- [АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» \(ВНИКТИ\)](#), г. Коломна;
- Государственный научно-исследовательский центр железнодорожного транспорта Украины (ДНДЦ УЗ), г. Киев;
- [АО «ПО Уралвагонзавод»](#), г. Нижний Тагил;
- ЦНИИ «ТрансЭлектроПрибор», г. Санкт-Петербург;
- [ОАО «ВЭЛНИИ»](#), г. Новочеркасск;
- ОАО «Метровагонмаш», г. Мытищи;
- ООО «Трансолушенз СНГ», г. Москва;
- [ООО «Уральские локомотивы»](#), г. Верхняя Пышма, Свердловская обл.;
- группа компаний [«Инженерный центр вагоностроения»](#), Санкт-Петербург;
- [ООО «Объединенная Вагонная Компания»](#), г. Москва;
- [ОАО «Выксунский металлургический завод»](#), г. Выкса;
- Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), г. Москва;
- Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону;
- Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), г. Екатеринбург;
- Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС), г. Иркутск;
- Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДвГУПС), г. Хабаровск;
- Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения;
- Самарская государственная академия путей сообщения, г. Самара;
- Южно-Российский государственный технический университет, г. Новочеркасск;
- Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, г. Вильнюс, Литва.

Пользователи УМ за рубежом

- Компания [AmstedRail](#), США,
- Локомотивостроительная компания VOSSLOH Espania, S.A., г. Валенсия, Испания;
- Локомотиво- и вагоностроительная компания "[INKA - Indonesian Railway Industry](#)", Индонезия;
- железные дороги Индонезии [Kereta Api Indonesia](#), Индонезия;
- компания [Sifang Rolling Stock Research Institute](#), г. Циндао, Китай;
- [GREENBRIER Europe](#), Попрад, Словакия;
- [Advisian](#), Worley Group, Мельбурн, Австралия;
- [Institute of Railway Technology](#), Monash University, Мельбурн, Австралия;
- [CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd.](#), Китай;
- [CRRC Zhuzhou Times New Material Technology Co.](#), Китай;
- [BYD Company Limited](#), Китай;
- [China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.](#), Китай;
- [Tongji University](#), г. Шанхай, Китай;
- [China Railway Design Corporation](#), г. Тяньцзинь, Китай;
- [CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd.](#), г. Чжучжоу, Китай;
- [Шанхайский университет инженерных наук](#), г. Шанхай, Китай;
- [Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd.](#), Китай;
- 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. Наньчан, Китай;
- Shijianzhuang Tiedao University, г. Шицзячжуан, Китай;
- Chinese Academy of Railway Sciences, Китай;
- Southwest Jiaotong University, Китай;
- Beijing Jiaotong University, Китай.

Проекты и исследования

Анализ сходов подвижного состава

- 28 ноября 2007 г. в Департаменте технической политики ОАО РЖД состоялось заседание секции научно-технического совета, решением которого программа «Универсальный механизм» официально используется 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.
- Реконструкция и анализ причин схода электропоезда в Гонконге недалеко от станции Хун Хом в 2019 г., см. <https://www.interfax.ru/world/676740>. Были рассмотрены модели электропоездов [MTR](#) и [SP1900](#) при прохождении маршрута, на котором произошёл сход. Реконструкция схода выполнялась по измеренным неровностям, значениям ширины колеи и изменяющимся профилям рельсов на стрелке. Анализировалось влияние различных факторов на опасность схода. Исследование выполнялось совместно с [институтом железнодорожных технологий](#) университета Монаша, Мельбурн, Австралия.

Анализ динамики подвижного состава

- Анализ безопасности движения пассажирских электропоездов для проекта [The Melbourne Metro Rail Project](#). В рамках проекта были разработаны модели электропоездов [High Capacity Metro Trains](#), [V/Line VLocity](#) и [X'Trapolis 100](#), эксплуатируемых в Мельбурне и окрестностях. Выполнялся анализ запаса устойчивости от вкатывания и фактор износа для нескольких вариантов пути вновь проектируемых линий метро Мельбурна. Работа выполнялась совместно с

[институтом железнодорожных технологий](#) университета Монаша, Мельбурн, Австралия.

- Разработка моделей грузовых вагонов на китайских тележках серии Q, S и C с осевой нагрузкой до 40 тонн для компании [Rio Tinto](#), Австралия, 2019. В рамках работы над проектом было проведено успешное сравнение результатов натуральных и компьютерных экспериментов. Работа выполнялась совместно с [институтом железнодорожных технологий](#) университета Монаша, Мельбурн, Австралия.
- Определение опасных сочетаний неровностей для грузовых вагонов на тележках С-класса для компании [Rio Tinto](#), Австралия, 2019. Рассматривались различные сочетания отдельных неровностей в прямых, кривых постоянного радиуса и переходных кривых. Результаты исследования используются для предотвращения развития опасных сочетаний неровностей и минимизации рисков схода грузовых вагонов на корпоративных путях компании. Работа выполнялась совместно с [институтом железнодорожных технологий](#) университета Монаша, Мельбурн, Австралия.
- Анализ движения электропоезда после схода на стрелке для проекта [The Melbourne Metro Rail Project](#), 2017. Анализировалась скорость и направление движения поезда после схода при ударе в элементы инфраструктуры. Работа выполнялась совместно с [институтом железнодорожных технологий](#) университета Монаша, Мельбурн, Австралия.
- Анализ динамического поведения железнодорожных экипажей и моста во время движения поездов по мосту с пролетным строением длиной 352 метра по заказу [ОАО "Институт Гипростроймост"](#), 2018-2019 гг. Комплексная компьютерная модель включает подробные трехмерные модели грузового и пассажирского поездов, состоящих из двенадцати экипажей, конечноэлементную модель моста и путь с упругими рельсами. Основной целью исследований была оценка безопасности движения, в том числе, с учетом неблагоприятных внешних воздействий и состояния экипажей: сильный боковой ветер, землетрясения, удовлетворительное состояние пути, изношенные экипажи. Исследования с применением моделей подобной сложности в публикациях не встречаются.

- Разработка инновационных профилей колёс для грузовых и пассажирских вагонов по заказу [Выксунского металлургического завода](#). Выполнен выбор оптимальных профилей вагонных колес для трех типов вагонов; дана оценка прогнозируемого увеличения срока службы колес с инновационными профилями по сравнению со стандартными с учетом их марки стали. Оптимизация профилей выполнялась по критериям износа, усталостной долговечности и динамическим показателям безопасности и воздействия на путь. По результатам работы получены патенты № [2661183](#) и [2661186](#).
- Моделирование продольной динамики тяжеловесного поезда при разгрузке с помощью автоматического вагоноопрокидывателя. В работе было проведено сравнение результатов компьютерного моделирования и натуральных экспериментов. Результаты исследования были опубликованы в статье [[13](#)]. Эта работа была признана лучшей на международной конференции по тяжеловесному движению [ИНА 2015](#), прошедшей в Перте, Австралия.
- Разработка 10 моделей локомотивов и электропоездов для железнодорожного тренажёра по Турецких железных дорог в сотрудничестве с компанией [Savronik](#), Турция, 2013–2015 гг.
- Разработка моделей локомотива, вагонов и поезда для железнодорожного тренажера по заказу Marmara Research Center, г. Стамбул, Турция, 2009–2010 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.
- 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.

- Исследование динамики и усталостной долговечности длиннобазных платформ по заказам российских предприятий (задание ОАО РЖД), 2006 г.
- Исследование ходовой динамики и выбор рациональных параметров ходовой части проектируемого электровоза 2ЭС4К. Исследование проводилось совместно с ФГУП ВНИКТИ МПС, 2004 г.
- Анализ динамики и выбор рациональных параметров вагона для перевозки автомобилей по заказу ЗАО «ВКМ-Инжиниринг», г. Москва, 2006 г.
- Развитие динамических моделей рельсовых экипажей с целью исследования трибодинамических процессов по заказу ФГУП ВНИИЖТ, 2005 г.
- 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.
- 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.
- Поиск оптимальный ремонтных профилей рельсов после шлифования и прогнозирование срока их службы по заказу ФГУП ВНИКТИ, 2001–2002 гг.
- 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.

Сравнение с аналогами

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.
- 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.

Научный потенциал

По результатам разработки и с использованием ПК «Универсальный механизм» были защищены докторские диссертации Погорелова [8], Коссова [4], Павлюкова [7]; кандидатские диссертации Языкова [11], Загорского [2], Селенского, Галичева [1], Ковалева [3], Михеева [6], Юдаковой, Мелкумовой (МГУ им. М.В. Ломоносова). Научные исследования группы разработчиков ПК УМ в течение 20 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.

Список литературы

1. 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.
2. Загорский М.В. Обоснование конструкции и параметров экипажной части перспективного четырехосного тепловоза по тяговым и динамическим показателям. Дисс. ... канд. техн. наук. Брянск, 2003.
3. Ковалев Р.В. Разработка и реализация эффективных методик компьютерного исследования динамики и оптимизации параметров ходовых частей железнодорожных экипажей. Дисс. ... канд. техн. наук. Брянск, 2004.
4. Коссов В.С. Снижение нагруженности ходовых частей локомотива и пути. Дисс. ... д-ра техн. наук. Коломна, 2001.
5. Манчестерские тесты для моделирования рельсовых экипажей. Руководство пользователя к ПК «Универсальный механизм».

http://www.universalmechanism.com/download/80/rus/10_um_loco_manchester_benchmarks.pdf

6. Михеев Г.В. Компьютерное моделирование динамики систем абсолютно твердых и упругих тел, подверженных малым деформациям. Дисс. ... канд. техн. наук. Брянск, 2004.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Сакало В.И., Коссов В.С. Контактные задачи железнодорожного транспорта. – М.: Машиностроение, 2004. – 496 с., ил.
11. 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.
12. Iwnicki, Simon D. The Manchester benchmarks for rail vehicle simulation / ed. by S. Iwnicki. - Lisse: Swets & Zeitlinger, 1999. – 199 p.
13. R. Kovalev, A. Sakalo, V. Yazykov, A. Shamdani, R. Bowey & C. Wakeling. Simulation of longitudinal dynamics of a freight train operating through a car dumper. Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, Volume 54, Issue 6, 2016. Pages 707-722. DOI:10.1080/00423114.2016.1153115.