



1
ВЫПУСК

**ПРОБЛЕМЫ
И ТЕНДЕНЦИИ
РАЗВИТИЯ**

**НАУКА, ТЕХНИКА
И ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ**



Филиал Московской государственной
технологической академии в г. Ростове-на-Дону



Восточноукраинский национальный
университет им. Владимира Даля

НАУКА, ТЕХНИКА И ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ: ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

**Материалы научно-практической конференции
21–28 февраля 2004 г.**

Ростов-на-Дону

Издательство Ростовского университета
2004

ПРИМЕНЕНИЕ МКЭ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕС И РЕЛЬСОВ

Сладковский А.¹⁾, Куминек Т.¹⁾, Сладковская О.²⁾

¹⁾ Силезский технологический университет, Катовице, Польша

²⁾ Национальная металлургическая академия, Днепрпетровск, Украина

Проблемы, связанные с взаимодействием в паре трения колесо – рельс, являются определяющими для проектирования новых видов подвижного состава. Это обусловлено тем, что от взаимодействия колесных пар и рельсовой колеи зависит безопасность движения поездов, а, следовательно, создание высокоскоростного или тяжелонагруженного подвижного состава. При этом взаимодействии происходят сложные физико–механические явления, которые приводят к преждевременному износу элементов пары трения, что влечет за собой значительные экономические потери на ремонт пути и подвижного состава. Следует отметить, что указанные проблемы не являются региональными или присущими только для стран бывшего СССР. На многочисленных конференциях, посвященных указанным проблемам, отмечалось, что несмотря на региональные особенности, проблемы контактного взаимодействия колес и рельсов являются всеобщими [1,2].

Для решения указанных проблем необходимо рассмотреть много различных аспектов. Настоящая работа посвящена анализу напряженно-деформированного состояния колес и рельсов действующего подвижного состава и пути Польских железных дорог. В качестве примера выбраны пассажирские электровозы EU07 с исходным профилем поверхности катания 28UIC140. Эти локомотивы являются наиболее распространенными на железных дорогах Польши для своего класса перевозок. Проведен анализ изнашивания колес указанных локомотивов в условиях депо Катовице. С этой целью не только проводились замеры параметров, определяющих износ колес, как то, толщины гребня, проката колес или крутизны (угла наклона) гребня, но и снимались профилограммы рабочей поверхности колес. Последнее можно было осуществить при помощи лазерных профилографов типа А-В производства P.T.U GRAW в Гливице. Такие профилограммы были сняты для колес, находящихся на различной стадии износа. Проведен статистический анализ изнашивания колес.

Аналогичные исследования проводились для рельсов. В частности, рассматривались рельсы UIC60, также находящиеся на различной стадии износа. Для них снимались профилограммы при помощи профилографа РХУ, производства той же фирмы. Указанный профилограф позволяет проводить замеры профилей рабочих поверхностей рельсов в прямых и кривых участках пути, а также стрелочных переводов.

Для исследования контактного взаимодействия колес и рельсов использована новая методика, основанная на применении метода конечных элементов (МКЭ). Применение указанного метода позволяет не обращать внимания на существенные ограничения, которые используются в многочисленных модификациях расчетов, в своей основе базирующихся на теории Г. Герца. МКЭ позволяет исследовать контактное взаимодействие колес и рельсов с их реальными профилями рабочих поверхностей, свойствами материалов и условиями нагружения. Однако применение МКЭ накладывает также существенные ограничения, связанные с особенностями самого метода. В частности, это относится к проблемам генерации конечно-элементных сеток. В работе [3] авторы доказали, что неправильное применение МКЭ к решению контактных задач может приводить к неадекватным результатам расчетов. При этом даже для достаточно густых сеток погрешность расчетов может превышать 25% и более.

Проведен анализ, какие параметры создаваемых сеток в максимальной мере влияют на погрешность решения. Определено, что наиболее влияет несогласованность контактных узлов, из чего следует вывод, что для решения задач о взаимодействии колес и рельсов создаваемые сетки должны быть предварительно согласованы между собой. При этом также должна быть обеспечена достаточная густота сеток, с тем чтобы количество узлов попадаю-

щих в зону контакта после деформирования взаимодействующих тел под нагрузкой было не менее 5 по каждой координате на поверхности контакта для каждой из контактных зон.

В связи с описанными требованиями разработана следующая методика исследований. Профили колес и рельсов, сканированные при помощи лазерных профилографов, записываются в виде файла с расширением DXF (открытый графический формат файлов фирмы Autodesk, Inc.) К сожалению, сканированные профили не могут быть измерены абсолютно точно. Погрешность замеров при помощи профилографов не превышает 0,05 мм. При этом измерения проводятся с шагом 0,01 – 0,03 мм. Поэтому для формирования рабочего профиля поверхности катания колес и рельсов, который в дальнейшем должен быть использован в расчетах, необходимо выполнить интерполяцию, которая бы позволила сгладить возможные ошибки измерений. Такая интерполяция выполнялась различными способами, для чего использовались сплайны Безье или отдельные дуги окружностей.

Рассчитанные профили колес и рельсов импортировались в вычислительную программу, разработанную авторами, в которой была реализована квазигерцевская методика, описанная в книге [4]. В соответствии с ней определялись исходные положения контактирующих поверхностей колеса и рельса с учетом углов набегания, деформаций колеса и рельса и т.п. После чего, анализируя расстояния между соответствующими точками поверхностей колеса и рельса, можно было определить возможные начальные точки их контакта. Для таких точек находились локальные кривизны, определялись на основе классических подходов величины контактных зон, которые возникают под действием приложенных к колесу нагрузок. Решение проводилось в трехмерной постановке. Наиболее сложный вариант возникает при возможности многозонного (двухзонного) контакта. В этом случае нагрузка, приложенная к колесу, делится между двумя зонами возможного контакта. Определяются сближения контактных поверхностей под действием приложенных нагрузок. Условие совместности деформаций позволяет внести коррективы и изменить величины нагрузок, приложенных к каждой из контактных зон. Процесс повторяется итерационно, в результате чего находятся реальные силы приложенные в каждой из зон контакта, а также величины контактных эллипсов для каждой из зон. Очевидно, что в данном случае используются допущения Герца и такая методика не является достаточно точной. Это в особенности относится к случаю двухзонного или гребневого контакта. Однако такой подход оказывается очень удобным для предварительной оценки положения контактных зон и их очертания.

Полученные результаты используются в дальнейшем при генерации конечно-элементных сеток. В частности, определенные при помощи квазигерцевского подхода зоны контакта используются для формирования приконтактных зон, для которых генерируются регулярные сетки повышенной густоты. При этом обеспечивается согласование будущих контактных узлов. Остальные части рассматриваемых колес и рельсов могут иметь нерегулярные и более редкие сетки. Процесс генерации сеток проводится в программе MSC.Visual NASTRAN for Windows. Задаются также свойства материалов колеса и рельса. Полученная модель записывается далее в виде т.н. «нейтрального» файла (расширение NEU).

Преимущество такого формата заключается в том, что это текстовый файл, который, с одной стороны, может быть легко откорректирован при необходимости. С другой стороны, процесс генерации сетки, наиболее трудоемкий при решении контактных задач, может быть автоматизирован. И, наконец, модели, записанные в виде нейтральных файлов могут быть легко импортированы во многие пакеты прикладных программ, реализующих МКЭ, в том числе в программы фирмы MSC.Software, которые были использованы авторами.

В частности, для расчета контактного взаимодействия колес и рельсов был использован пакет MSC.MARC. Преимущество этого пакета заключается в том, что для реализации контакта между телами нет необходимости использования специальных контактных элементов. После импорта конечно-элементной модели в данном пакете задаются условия закрепления и нагружения рассматриваемых физических объектов, а также определяются контактные свойства взаимодействующих тел. Важным этапом исследований является также настройка параметров самого расчета, что в значительной степени влияет на быстродействие

компьютера. К сожалению, даже для мощных компьютеров на базе Pentium IV контактные задачи могут рассчитываться несколько суток. Здесь также большое значение имеет способ задания нагружения рассматриваемых объектов. Например, если рассматривается закрепленный рельс и подвижное колесо, то возможны два способа задания нагрузки, действующей на колесо. Могут быть сначала заданы исходные положения колеса и рельса, а затем к колесу приложены действующие силы. Такой способ является неэффективным, поскольку задача решается в перемещениях и программа находит окончательное поле перемещений итерационно. При этом итерационный процесс затягивается настолько, что решение в зависимости от числа степеней свободы задачи может быть вообще не найдено.

Предлагается более рациональный способ решения, а именно, на основании предварительного решения с использованием квазигерцевского подхода определяются сближения рассматриваемых тел. Указанные сближения задаются в качестве условий нагружения, например, для колеса. Задача решается в перемещениях, затем определяются контактные узловые силы, суммируя их находим полные нагрузки приложенные к колесу. Если они существенно отличаются от заданных нагрузок, изменяем исходные перемещения колеса и снова решаем задачу. Т.е. также реализуется итерационный процесс. Но такой процесс является контролируемым пользователем и для его реализации может быть найден рациональный алгоритм. В любом случае, такой подход позволяет существенно сэкономить время расчета.

В результате исследований были определены распределения напряжений, деформаций и перемещений в приконтактной области колеса и рельса. Определено влияние рабочих профилей поверхности на такие распределения. Исследовано также пластическое деформирование в указанных зонах и его влияние на изнашивание элементов рассматриваемой пары трения. Таким образом, можно утверждать, что разработанный алгоритм эффективен для анализа НДС взаимодействующих колес и рельсов, что может быть использовано для проектирования новых конструкций колес и рельсов. Очевидно также, что разработанные новые профили колес и рельсов перед их выпуском в пробную эксплуатацию должны также пройти исследования, связанные с моделированием динамики движения экипажей, с целью определения допустимых скоростей движения, влияния профилей колес на влияние колесных пар и колебания в целом, а также на процессы относительного проскальзывания поверхностей и их истирание.

Работа выполняется в рамках научно-исследовательской работы 5 T12C 052 23.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sitarz M., Sladkowski A., Zurek Z. Research of Influence of Surface Profiles for Different Wheel – Rail Pair on Distribution of Contact Stresses // Proceedings 6th International Conference on Contact mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems. – Gothenburg: CHARMEC, 2003.- V. 1. – P. 259 – 264.
2. Sladkowski A., Sitarz M. To the Question of Improvement of profiles of Railways Wheels // Book of Reports of International Congress „Mechanics and Tribology of Transport Systems – 2003”. – Rostov-on-Don: Rostov State Transport University, 2003. – P. 239 – 243.
3. Sladkowski A., Kuminek T. Influence of the FE Discretization on Accuracy of Calculation of Contact Stress in a System Wheel – Rail // Proceedings 3rd Scientific Conference of Jan Perner Transport Faculty “New Trends in Transport and Communications”. – Pardubice: University of Pardubice, 2003. – P. 13 – 18.
4. Сладковский А.В. Снижение износа колесных пар на магистральном и промышленном транспорте. - Днепропетровск: Полиграфист, 1997. - 108 с.

Канович М.З., Верещагина Н.В., Бардушкин В.В., Яковлев В.Б. Влияние концентрации неизометричных включений на анизотропию упругих свойств дисперсно- упрочненных матричных композитов	101
Кобищанов В.В., Антипин Д.Я. Прогнозирование роста трещиноподобного дефекта в зоне стыкового сварного шва несущей конструкции кузова пассажирского вагона с использованием синергетической концепции повреждаемости металла	104
Колесников В.И., Мясникова Н.А. Некоторые принципы создания полимерных материалов триботехнического назначения	108
Омаров Т.И., Фельский В.И. Влияние структуры механизма передвижения рельсовой машины на его динамическую нагруженность	111
Савицкий В.Н. Композиционные материалы на основе полимеров в машиностроении	116
Сергиенко В.П., Купреев А.В., Ярош О.С., Авдеев Э.Ю. Безасбестовые фрикционные композиционные материалы с полимерной матрицей предназначенные для эксплуатации в тормозных и передаточных узлах в среде масла	118
Сергиенко В.П., Столяров А.И., Ткачев В.М. Моделирование напряженного состояния в фрикционно-взаимодействующих материалах и конструкциях	121
Сладковский А., Куминек Т., Сладковская О. Применение Метода конечных элементов для исследования контактного взаимодействия колес и рельсов	126
Сытар В.И., Бурмистр М.В., Данилин Д.С., Кабат О.С., Буря А.И. Исследование свойств многокомпонентных систем на основе ароматических полиамидов	133