

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ М.И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

УДК 625.2.001:625.032.3

АЛЕКСАНДРОВ Александр Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И НАПРЯЖЕНИЙ В
ОБЛАСТИ КОНТАКТА КОЛЕСА И РЕЛЬСА

05.22.07 - Подвижной состав и тяга поездов

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических
наук

Днепропетровск - 1983

Работа выполнена в Институте технической механики Академии наук Украинской ССР.

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор В.Ф. УШКАЛОВ

Научный консультант

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

В.Ф. ГРАЧЕВ

Официальные оппоненты :

доктор технических наук, профессор В.А. КАМАЕВ,

доктор технических наук, доцент В.Д. ДАНОВИЧ.

Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта,

Защита состоится "27" января 1984 г. в 14 час.
на заседании специализированного совета К И4.07.01 в Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени институте инженеров железнодорожного транспорта имени М.И. Калинина (г.Днепропетровск, 320629, ГСП, ул. Акад. В.А. Лазаряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "27" декабря 1983 г.

Ученый секретарь специализированного

совета кандидат технических наук,

доцент

Л.В. ПЕТРОВИЧ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На современном этапе развития экономики страны одной из основных задач, поставленных перед транспортом, является увеличение объема перевозок. Реальный путь решения этой задачи средствами железнодорожного транспорта - повышение осевых нагрузок локомотивов и грузовых вагонов. Однако рост осевых нагрузок приводит к возрастанию контактных напряжений и к увеличению выхода рельсов из строя по контактно-усталостным дефектам. Поэтому получение достоверных теоретических и экспериментальных данных о напряжениях в зоне контакта колеса с рельсом, а также разработка рекомендаций по снижению их уровня либо повышению прочности контактирующих тел имеют чрезвычайно важное значение.

Целью работы является разработка методики, создание алгоритма и программы для исследования напряжений в области контакта колеса и рельса; оценка динамических контактных напряжений в головке рельса, возникающих при движении грузового вагона; разработка рекомендаций по их снижению.

Методика исследований. В работе использован метод математического моделирования с применением цифровых вычислительных машин. Численное интегрирование обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений совместных колебаний грузового вагона и железнодорожного пути проводилось методом Адамса-Башфорта. Численное решение задачи о контакте колеса и рельса получено с помощью метода конечных элементов. При этом использовалась разработанная автором методика приближенного вычисления матриц податливости, позволяющая решать пространственную контактную задачу.

Научная новизна. Построена математическая модель совместных пространственных колебаний грузового вагона и железнодорожного пу-

4837a

ти, которая позволила изучить влияние профиля поверхности катания колес на силы взаимодействия экипажа и пути.

Предложен алгоритм численного решения задачи о контакте двух упругих тел сложной конфигурации, позволивший при исследовании взаимодействия колеса и рельса рассмотреть случаи контакта, для которых нарушаются предпосылки теории Герца (случай несимметричного контакта, когда точки изменения кривизны поверхности колеса или рельса оказываются в контактном пятне, включая случай контакта в зоне боковой выкружки рельса и гребня колеса). Проанализировано влияние места приложения нагрузки от колеса к рельсу, профиля поверхности катания колеса на размеры и форму контактного пятна, распределение контактных напряжений.

Практическая ценность. Данная работа является частью работ по развитию методов исследования динамики подвижного состава, выполненных с целью совершенствования профиля поверхности катания колес, ведущего к уменьшению сил взаимодействия экипажа и пути, снижению контактных напряжений в ободке колеса и головке рельса. Применение предложенных алгоритмов и программ позволило: исследовать влияние профиля поверхности катания колес на силы взаимодействия грузового вагона и пути; оценить с точки зрения контактных напряжений использование колес с тремя различными профилями поверхности катания – стандартным, изношенным среднесетевым и профилем, предложенным ВНИИЖТ; дать рекомендации по улучшению профиля поверхности катания колес. Методика исследования контактных напряжений, возникающих в ободке колеса и головке рельса, может быть использована при решении задач взаимодействия транспортных экипажей и пути.

Внедрение результатов работы. Материалы исследований переданы для использования во ВНИИЖТ. Методика, предложенная в работе, используется в ДИИТе при проведении расчетов контактных напряжений, воз-

никающих в элементах вагонных колес. Годовой экономический эффект от внедрения разработок составляет около 50 тыс. рублей.

Алгоритмы и программы для ЭВМ используются в ИТМ АН УССР при исследовании контактных напряжений, возникающих при взаимодействии упругих тел сложной конфигурации.

Апробация. Основные результаты работы доложены на: Всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта" (Днепропетровск, 1980), Всесоюзной научно-технической конференции "Создание локомотивов большой мощности и повышение их технического уровня" (Ворошиловград, 1981), научно-технической конференции молодых ученых и специалистов железнодорожного транспорта, посвященной 63-летию ВЛКСМ (Днепропетровск, 1981), научном семинаре "Общая механика" (Днепропетровск, 1982, 1983), научно-технической конференции молодых ученых ИТМ АН УССР (1982), Уральской зональной конференции "Пути повышения надежности и ресурса систем машин" (Свердловск, 1983), на научном семинаре в Брянском институте транспортного машиностроения (Брянск, 1983).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из 5 глав, введения, заключения, приложений, списка использованных источников.

Структура работы обусловлена необходимостью последовательного описания расчетных схем, построения математических моделей, методов решения, а также их применения в исследованиях взаимодействия экипажа и пути и возникающих при этом контактных напряжений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведены краткий обзор исследований взаимодействия подвижного состава и пути, а также основных результатов по вопросу об определении напряжений для контактной пары "колесо-рельс". Сформулированы общая постановка решаемой задачи и цели исследования.

Задачу об определении напряжений в области контакта колеса и рельса целесообразно разбить на два этапа. На первом этапе, рассматривая пространственные колебания железнодорожного экипажа, движущегося по инерционному упруго-вязкому пути, можно определить динамические контактные силы.

На втором этапе определяются поверхность контакта, распределение контактных давлений и напряжений с учетом упругости контактирующих тел (колеса и рельса) при задании найденной на первом этапе динамической нагрузки в фиксированный момент времени.

Таким образом, первый этап связан с решением задачи динамики, второй этап - с решением контактной задачи.

Теоретические основы исследований динамики подвижного состава заложены в работах отечественных и зарубежных ученых: Н.Е. Жуковского, А.М. Годыцкого-Цвирко, Н.П. Петрова, С.П. Тимошенко, М.Ф. Вериги, С.В. Вершинского, В.А. Лазаряна, В.Б. Медея, Г. Марье, Ф. Картера и других. Значительные исследования, направленные на изучение динамики подвижного состава, а также его взаимодействия с путем, выполнены советскими учеными: Е.П. Блохиным, Л.О. Грачевой, В.Д. Дановичем, А.А. Камаевым, В.А. Камаевым, А.Я. Коганом, М.Л. Коротенко, С.М. Куценко, А.А. Львовым, А.Н. Савоськиным, М.М. Соколовым, Т.А. Тибилловым, В.Ф. Ушкаловым, М.А. Фришманом, И.И. Челноковым, Г.М. Шахунянцем и другими.

При исследовании пространственных колебаний экипажей расчет сил взаимодействия обычно проводится для стандартных профилей конической поверхности катания колес с неизношенными бандажами. Однако профиль поверхности катания колес ходовых частей транспортных экипажей может существенно изменяться в процессе их эксплуатации. Кроме того, в ряде зарубежных стран вошло в практику использование новых колес с криволинейным профилем поверхности катания, значительно отличающейся от обычной конической. Поэтому при оценке воздействия экипажа на путь целесообразно учитывать наряду со многими другими важными факторами и нелинейность профиля поверхности катания колес. Такой подход позволяет более точно оценить как силы взаимодействия в системе "экипаж-путь", так и величины возникающих контактных напряжений.

Контактные напряжения, возникающие при взаимодействии колеса и рельса, определяются из решения пространственной контактной задачи теории упругости.

Основной вклад в изучение контактного взаимодействия упругих тел внесли: Г. Герц, А.Н. Динник, С.П. Тимошенко, Н.М. Беляев, Н.И. Глаголев, И.Я. Штаерман, Н.И. Мусхелишвили, Л.А. Галин, И.Калкер и другие исследователи.

Применению теории контактных деформаций к исследованию взаимодействия колеса и рельса посвящено много работ. Однако в большинстве из них контакт колеса и рельса сводился к взаимодействию двух цилиндров. Действительно, если контактная площадка расположена в средней части очертания головки рельса, определение напряжений может производиться по теории Герца-Беляева, что достаточно хорошо подтверждается экспериментом. В то же время, в зонах боковой выкружки рельса и гребня колеса наблюдаются существенные расхождения между теоретическими и экспериментальными результатами. Это объяс-

няется соизмеримостью радиусов кривизны контактирующих поверхностей с размерами контактного пятна, что исключает одну из предпосылок теории Герца. Кроме того, наличие точек изменения кривизны на поверхности рельса как в верхней части головки, так и в зоне боковой выкружки приводит к асимметрии в распределении контактных давлений. Поэтому для определения тензора напряжений в головке рельса и ободу колеса наряду с разработкой экспериментальных методов, приближенных аналитических методов, целесообразно применять численные методы расчета. Последние дают возможность получить решение задачи для сложной геометрии контактирующих поверхностей колеса и рельса и рассмотреть всевозможные случаи контакта (в том числе и такие, для которых получение приближенного аналитического решения сопряжено со значительными трудностями, а использование экспериментальных методов приводит к большой погрешности из-за нарушения реальных условий контакта).

Во второй главе получены дифференциальные уравнения, описывающие пространственные колебания грузового вагона, а также проведен анализ сил взаимодействия в системе "экипаж-путь".

При выборе расчетной схемы пути приняты следующие допущения:

1. Путь представлен в виде двух балок, лежащих на сплошном упруго-вязком инерционном (по В.З. Власову) основании и находящихся под действием вертикальных и горизонтальных сил, которые приложены в точках контакта колес и рельсов.

2. Нагрузка на основание от каждой рельсовой нити равномерно распределена в пределах половины длины шпалы.

3. Нагрузка, действующая на одну из рельсовых нитей не влияет на перемещения другой рельсовой нити.

4. Вертикальные и горизонтальные поперечные перемещения рельсов равны соответствующим перемещениям основания в точке контакта,

а горизонтальные продольные перемещения рельсов и основания отсутствуют.

5. Перемещениями основания за пределами шпалы и кручением рельсов пренебрегаем.

Экипаж и путь представлены в виде механической системы, состоящей из 19 твердых тел (11 из них вместе со связями моделируют экипаж, а 8 - путь). После введения некоторых допущений и наложения связей число степеней свободы рассматриваемой системы оказалось равным 28.

В расчетной схеме учтены нелинейности, обусловленные криволинейностью профиля поверхности катания колес и наличием демпферов сухого трения в рессорном подвешивании. В первом случае нелинейность введена как функция приращения (изменения) расстояния от точки контакта колеса с рельсом до оси колесной пары при ее поперечном смещении.

Определение сил взаимодействия проведено путем анализа периодических режимов полученной системы дифференциальных уравнений.

При исследовании вынужденных колебаний учтены вертикальные (стыковые) и горизонтальные неровности железнодорожного пути.

Введено предположение, что вертикальные неровности описываются периодически повторяющимися отрезками косинусоиды:

$$\eta_0 = \frac{d_0}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{\lambda_0} \right) [b_0(x) - b_0(x - \lambda_0)],$$
$$0 \leq x \leq L,$$

где d_0 и λ_0 - глубина и длина вертикальной неровности, L - длина рельсового звена.

Горизонтальные возмущения, вызванные конечной длиной рельсового звена и извилистым движением экипажа, принимались равными:

$$\eta_r = \alpha_r \sin \frac{2\pi x}{\lambda_r},$$

где α_r и λ_r - амплитуда и длина волны горизонтальной неровности.

Численное интегрирование полученной системы обыкновенных дифференциальных уравнений проведено методом Адамса-Башфорта. При этом на каждом шаге обращалась матрица инерционных коэффициентов (некоторые внедиагональные элементы матрицы зависят от обобщенных координат).

Проведен анализ сил взаимодействия при различных сочетаниях параметров неровностей пути в диапазоне скоростей движения от 40 до 120 км/ч (конструкционная скорость тележки ЦНИИ-ХЗ-0) для колес с тремя различными профилями поверхности катания: стандартным, изношенным среднесетевым и профилем, предложенным ВНИИЖТом. Получены зависимости сил взаимодействия от осевой нагрузки и параметров неровности пути.

Проведенные исследования показали, что замена типового профиля поверхности катания колес изношенным (среднесетевым с прокатом 2,5 мм), а также использование колес с профилем поверхности катания, предложенным ВНИИЖТ, как правило, уменьшает силы взаимодействия пути и экипажа, движущегося по прямолинейным участкам.

Для проверки корректности разработанной методики проведено сравнение расчетной и экспериментальной зависимостей динамических коэффициентов K_p^0 по вертикальным силам взаимодействия экипажа и пути от скорости движения. Получено удовлетворительное согласование результатов.

В третьей главе изложен алгоритм определения с помощью метода конечных элементов тензора напряжений в области контакта двух упругих тел сложной конфигурации при неизвестном граничном контуре поверхности контакта. Особенностью предложенного алгоритма явля-

ется то, что рассматриваемая задача разбивается на две части: предварительно из решения системы нелинейных уравнений определяются неизвестные узловые силы, действующие на поверхности контакта, а затем с помощью метода перемещений вычисляются напряжения внутри каждого из тел. Для решения системы нелинейных уравнений можно использовать итерационные методы. Применение этих методов для определения контактных сил оказывается эффективным в том случае, когда известен относительно простой способ вычисления матриц податливости контактирующих тел.

Сама же процедура вычисления матриц податливости методом конечных элементов является весьма неэкономичной, так как она сводится к многократному решению системы уравнений жесткости метода перемещений для каждого из тел. При этом решаемая система уравнений имеет большой порядок, поскольку неизвестными являются перемещения не только поверхностных, но и всех внутренних узлов.

Реализация такого способа на ЭВМ при решении плоской задачи не вызывает затруднений. Однако в трехмерном случае время счета и объем памяти ЭВМ, необходимые для решения задачи, существенно возрастают. Поэтому при рассмотрении некоторых пространственных задач целесообразно использование приближенных методов определения матриц податливости.

В работе предложен приближенный способ вычисления матриц податливости, который позволяет легко учесть особенности геометрии контактирующих поверхностей тел, оставаясь в то же время намного экономичнее прямого использования метода конечных элементов для этой же цели.

Идея способа заключается в том, что для определения внедиагональных элементов матриц податливости предложено использовать известные аналитические выражения функций влияния для некоторых клас-

сических областей (предполагается, что данная классическая область приближенно моделирует рассматриваемое тело). Диагональный элемент матрицы податливости, находящийся в i -й строке, определяется следующим образом: выделяется часть рассматриваемого тела, содержащая узел i и близлежащие окружающие его поверхностные и внутренние узлы; методом конечных элементов решается задача об определении нормального перемещения этого узла, когда в нем к рассматриваемой части тела приложена единичная нормальная сила и перемещения удаленных граничных узлов части тела равны нулю; найденное таким образом перемещение узла i полагается равным соответствующему диагональному элементу матрицы податливости. В процессе определения всех диагональных элементов эта процедура повторяется для всех поверхностных узлов контактной зоны.

В четвертой главе разработанный ранее алгоритм применен для решения задачи о контакте колеса и рельса. При этом обоснован выбор функций влияния определенного вида для соприкасающихся поверхностей колеса и рельса, приведен способ вычисления напряжений внутри контактирующих тел, а также проведено сопоставление численных результатов расчета с аналитическим решением для задачи Герца.

Для определения внедиагональных ^{элементов} матриц податливости контактирующих поверхностей при взаимодействии колеса и рельса по верхней части головки рельса предложено использовать решение задачи Буссинеска о действии сосредоточенной единичной нормальной силы, приложенной к границе упругого полупространства:

$$c_{ij} = \frac{1-\nu^2}{\pi E} \cdot \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}} \quad (i \neq j), \quad (I)$$

где ν - коэффициент Пуассона, E - модуль упругости, x_i, y_i, z_i ;

x_j, y_j, z_j - координаты соответственно i -го и j -го узлов (точек) на поверхности колеса или рельса. Диагональные элементы матриц податливости вычисляются при этом по способу, предложенному в третьей главе.

Такой подход вполне оправдан в связи с малостью размеров контактного пятна в рассматриваемом случае по сравнению с размерами контактирующих тел и с минимальным радиусом главных кривизн контактирующих поверхностей. При выполнении вышеназванных условий контакта этот способ вычисления матриц податливости не приводит к заметному расхождению с точным решением задачи и вместе с тем не требует больших затрат машинного времени на его реализацию.

Нетривиальным является вопрос выбора матриц податливости для случая контакта в зоне боковой выкружки рельса и гребня колеса (там, где размеры контактного пятна соизмеримы с минимальным из радиусов главных кривизн контактирующих поверхностей). Для вычисления внедиагональных элементов матрицы податливости предложено использовать формулу, совпадающую с (I), при условии, что узлы с координатами $x_i, y_i; x_j, y_j$ лежат на криволинейной поверхности выкружки рельса (гребня колеса). Проведенный расчет показал, что решение контактной задачи о взаимодействии контактирующих тел в зоне боковой выкружки рельса и гребня колеса, полученное предложенным способом, и решение этой же задачи методом конечных элементов хорошо согласуются - различие в контактных давлениях не превосходит 5% по отношению к их максимальным значениям.

Следующим этапом после определения граничного контура поверхности контакта и распределения контактных давлений является вычисление напряжений внутри контактирующих тел. Для определения напряженного состояния в области контакта колеса и рельса при их взаимодействии по верхней части головки рельса предложено воспользо-

ваться соотношениями теории упругих полупространств. При приближении контактного пятна к боковой выкружке головки рельса такой способ определения напряжений является некорректным, так как он не учитывает влияние края. В этом случае для приближенного определения напряжений целесообразнее использовать метод конечных элементов.

Для проверки корректности разработанной методики было проведено сопоставление результатов расчета с известными решениями и экспериментальными данными для некоторых случаев контакта колеса и рельса. Так, при взаимодействии колеса и рельса по кругу катания полученные в данной работе результаты хорошо согласуются с решением по теории Герца-Беляева; характер и величина отклонения данных результатов от решения Герца-Беляева соответствует выводам экспериментальных исследований, проведенных в НИИЖТе. В случае контакта тел в зоне боковой выкружки рельса и гребня колеса результаты расчета по предлагаемой методике хорошо соответствуют результатам работ, выполненных в ЛИИЖТе.

В пятой главе дан подробный анализ численного решения пространственной квазистатической задачи о контакте колеса и рельса, включая случай контакта, для которых нарушены некоторые предпосылки теории Герца. Значения сил взаимодействия принимались по результатам исследования динамики объединенной системы "экипаж-путь", полученным во второй главе. Принято, что контакт колеса и рельса односточечный, а ось колеса перпендикулярна рельсовой нити.

Многочисленные эксперименты, проведенные с целью определения в реальных условиях эксплуатации величины и формы контактного пятна, показывают, что место приложения нагрузки от колеса к рельсу может значительно изменяться. Это обстоятельство было учтено в работе. При этом была получена форма контактного пятна, а также распределе-

ние контактных давлений от колеса на рельс при изменении в поперечном направлении места приложения нагрузки на поверхности головки рельса.

Анализ зависимости максимального контактного давления P_{max} от величины y_1 (расстояния между продольной плоскостью симметрии рельса и точкой начального касания колеса и рельса) для различных значений сжимающих сил показал, что при значениях y_1 в интервале $0 + 5$ и более 12 мм величины P_{max} практически постоянны. В интервале $5 \text{ мм} < y_1 < 12 \text{ мм}$, т.е. при захвате контактным пятном точки изменения кривизны поверхности рельса, наблюдается резкое увеличение максимального давления (принято, что контактные поверхности неизношены, профили катания колеса и головки рельса Р65 типовые).

При исследовании взаимодействия в зоне боковой выкружки головки рельса и гребня колеса выделены два возможных случая контакта:

1) симметричный контакт (точки изменения кривизны поверхности колеса и рельса находятся вне контакта);

2) несимметричный контакт (хотя бы одна из точек изменения кривизны поверхности колеса или рельса оказывается в контакте).

Показано, что в первом случае возможно использование в качестве приближенного решения результатов, полученных по теории Герца-Беляева. При этом степень их близости к точному решению задачи определяется тем, насколько размеры контактного пятна будут меньше радиуса выкружки рельса. Во втором случае величина максимального контактного давления возрастает почти в 2 раза по сравнению с первым (при одинаковом значении сжимающей силы), и применение теории Герца-Беляева приводит к качественно неверным результатам.

Исследовано влияние сил трения в контакте на величину контактных напряжений при взаимодействии колеса и рельса по кругу катания. При отсутствии трения величина τ_{max} имеет явно выраженный экстремум на глубине $\ell = 3,5$ мм при $F = 150$ кН и на глубине $\ell = 3$ мм при $F = 110$ кН (F - величина вертикальной сжимающей силы, приходящейся на одно колесо). Наличие сил трения приводит к заметному возрастанию (примерно на 30%) величины τ_{max} вблизи поверхностей контактирующих тел на глубине не более ℓ .

Качественные изменения, вызванные учетом трения, приводят к тому, что точка, в которой достигается наибольшее значение τ_{max} приближается к поверхности контакта, не достигая ее.

Проанализировано также влияние профиля поверхности катания колес на величину контактных напряжений. При рассмотрении колес с тремя различными профилями поверхности катания (стандартным, изношенным среднесетевым и профилем, предложенным ВНИИЖТ) получено, что при прочих равных условиях значения p_{max} и τ_{max} оказываются наибольшими для колес со стандартным профилем и наименьшими для колес с изношенным профилем.

Таким образом, разработанная методика позволила исследовать влияние места приложения нагрузки от колеса к рельсу, величины сжимающей контактной силы, трения, а также профиля поверхности катания колес на размеры и форму контактного пятна, распределение контактных давлений и напряжений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. Построена математическая модель, описывающая совместные пространственные колебания грузового вагона и инерционного упруго-вязкого пути с геометрическими несовершенствами.

2. Исследования вынужденных колебаний грузового вагона на прямых участках пути показали, что приближение типового профиля поверхности катания колес к форме изношенного (среднесетового с прокатом 2,5 мм), а также использование колес с профилем поверхности катания, предложенным ВНИИЖТ, как правило, уменьшает силы взаимодействия экипажа и пути.

3. Теория Герца-Беляева не охватывает всех случаев контакта колеса и рельса и ее применение для расчета контактных напряжений в зоне изменения кривизны поверхностей колеса или рельса приводит к качественно неверным результатам.

4. Разработан численный алгоритм решения пространственной контактной задачи теории упругости для тел сложной конфигурации, позволяющий исследовать взаимодействие колеса и рельса в любом месте их контактной поверхности.

5. Контактные напряжения и форма контактного пятна зависят от профиля поверхности катания колес, места приложения нагрузки от колеса к рельсу и могут существенно изменяться. При смещении колесной нагрузки от центра головки рельса к выкружке продольный размер контактного пятна несколько увеличивается, а поперечный существенно уменьшается; максимальные контактные давления и касательные напряжения существенно возрастают (почти в 2 раза) в точка, в которой достигается максимальное касательное напряжение, приближается к поверхности контакта.

7. При взаимодействии контактирующих тел в зоне боковой вык-

4837a

ружки рельса и гребня колеса максимальное контактное давление существенно возрастает по сравнению со случаем контакта по кругу катания. Наибольшее значение максимального контактного давления достигается при несимметричном контакте.

8. Учет трения при взаимодействии колеса и рельса приводит к увеличению касательных напряжений в контактной зоне. Максимальное напряжение сдвига возрастает, а точка, в которой оно достигается, приближается к поверхности.

9. С точки зрения контактных напряжений наилучшим из рассмотренных профилей поверхности катания колес является среднесетевой изношенный профиль с прокатом 2.5 мм.

Основное содержание опубликовано в следующих работах автора:

1. К решению задачи о контакте колеса и рельса с помощью метода конечных элементов. - В кн.: Проблемы механики железнодорожного транспорта: Тез. докл. на Всесоюз. конф., Днепропетровск, май, 1980 г. Киев: Наук. думка, 1980, с. 6-7 (соавтор В.Ф. Грачев).

2. Применение метода конечных элементов в задаче о контакте колеса и рельса. - Тр. ДИИТ, 1981, вып. 220/28, 116-122 (соавтор В.Ф. Грачев).

3. Решение задачи о контакте двух упругих тел с неизвестной областью соприкосновения при помощи метода конечных элементов. - Днепропетровск, 1982. - 13 с. - Рукопись представлена ИТМ АН УССР. Деп. в ВИНТИ 5 мая 1982, № 2233.

4. Об одном алгоритме решения контактных задач с помощью метода конечного элемента. - В кн.: Пути повышения надежности и ресурса систем машин: Тез. докл. на Уральской зональной конф., Свердловск, 23-25 марта 1983 г. Свердловск, 1983, с. 47 (соавтор В.Ф. Грачев).

5. К решению контактной задачи теории упругости с помощью

метода конечных элементов. - В кн.: Колебания и динамические качества механических систем. Киев: Наук. думка, 1983, с. 35-39 (соавтор В.Ф. Грачев).

6. Влияние места приложения нагрузки от колеса к рельсу на распределение контактных давлений. - Вестн. ВНИИЖТ, 1983, № 4, с. 43-45 (соавтор В.Ф. Грачев).

7. Определение сил взаимодействия пути и экипажей со стандартными и изношенными бандажами колес. - В кн.: Динамика механических систем. Киев: Наук. думка, 1983, с. 68 - 71 (соавтор В.Ф. Ушклов).

Александров Александр Иванович

Исследование сил взаимодействия и напряжений
в области контакта колеса и рельса

05.22.07 - Подвижной состав и тяга поездов

Подписано к печати 14.12.83. БТ 71148. Формат 60 x 84 1/16.

Бумага для множительных аппаратов Ротапринт. Усл. печ. л. 1,16.

Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № 2062. Бесплатно.

Участок оперативной полиграфии ДИИТа. 320629, ГСП, Днепропетровск, 10, ул. Акад. В.А. Лазаряна, 2.