

ISSN 1998-7927

*Ce recueil est consacré au 90e anniversaire de la création
de l'Université nationale est-ukrainienne Volodimir Dal
et
au 50e anniversaire du jumelage entre les villes
de Saint-Etienne et Louhansk*

*Ця збірка присвячена 90-й річниці заснування
Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля
та
50-й річниці встановлення дружніх зв'язків між
Луганськом та Сент-Етьєном*



ВІСНИК

**Східноукраїнського
національного
університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

VISNIK

**De l'Université
National
est-ukrainienne
Volodimir Dal**



**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
REVUE SCIENTIFIQUE**

**№9[139]
2009**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

ВІСНИК

**Східноукраїнського
національного університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 9 (139)
2009**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Луганськ 2009

Сладковский А. УЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА УПРУГИХ ПРОКЛАДОК ДЛЯ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ КБ-65.....	103
Соболев В.О. ПЕРЕДУМОВИ ТА НАПРЯМИ РОЗВИТКУ РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ В УКРАЇНІ.....	113
Сущенко О.А. СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ ЗОВНІШНЬОЕКОНОМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ РЕГІОНУ: ГЕОЕКОНОМІЧНИЙ ПІДХІД.....	121
Тимофеев Д.В. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКСТЕНСИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ.....	124
Толух І.П. ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ІННОВАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПІДПРИЄМСТВА.....	131
Трунина И.М., Колесник В.С. КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ КАК ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЙ ФАКТОР КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	136
Труніна І.М., Мельник Д.П. ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ОПОДАТКУВАННЯ ПІДПРИЄМНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ.....	141
Трунина И.М., Могилевская А.В. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УКРАИНЕ.....	150
Уварова Ю.М. ФОРМУВАННЯ КОМАНДИ В УПРАВЛІННІ ІННОВАЦІЙНО-ІНВЕСТИЦІЙНИМИ ПРОЕКТАМИ ПІДПРИЄМСТВА.....	155
Фесенко І.А. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ГОЛОВНА ПЕРЕДУМОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ.....	159
Филиппова И.Г., Балахнин Г.С. К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ХОЗЯЙСТВУЮЩИХ СУБЪЕКТОВ АПК.....	170
Часовська О.А. СУТНІСТЬ І ХАРАКТЕРИСТИКА МІЖНАРОДНОГО БІЗНЕСУ.....	175
Часовська О.А. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ В МІЖНАРОДНОМУ БІЗНЕСІ.....	180
Часовський С.А. ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ МІЖНАРОДНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ.....	186
Червонецкий В.В., Шабінський М.Є., Белов В.О. РОЗВИТОК ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ В КРАЇНАХ ЄВРОАТЛАНТИЧНОГО РЕГІОНУ.....	191

Сладковский А.

УЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА УПРУГИХ ПРОКЛАДОК ДЛЯ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ КБ-65

В статье представлены экспериментальные и теоретические исследования упругих прокладок для рельсовых скрепления КБ-65. Сравнение экспериментальных данных и результатов численных расчетов при помощи МКЭ позволило создать математическую модель упругой прокладки, которая адекватно отражает реальные эксплуатационные условия. Ее использование в расчетах динамики пути позволит повысить их точность.

В настоящее время перед странами Центральной и Восточной Европы стоят задачи повышения скорости движения поездов. Определенные сдвиги в данном направлении уже имеют место. Тем не менее, неудовлетворительное состояние пути является главным тормозом на пути развития высокоскоростного транспорта. Динамическое взаимодействие пути и подвижного состава должно соответствовать требованиям обеспечения безопасности движения. При этом верхнее строение пути играет ключевую роль.

В статье [1] исследовалось влияние ползунов на динамику взаимодействия пути и подвижного состава. Проводилось моделирование движения экипажа при помощи программного комплекса "Универсальный механизм" (УМ). Аналогичные статьи ставят задачей исследовать динамику при прохождении колесами стыковых неровностей, см. [2]. При этом величина коэффициента динамичности в значительной степени зависит от жесткостных характеристик пути. Вполне очевидно, что для более жесткого пути коэффициент динамичности возрастает. Но какие должны быть выбраны жесткостные характеристики пути? На этот вопрос нет однозначного ответа, поскольку таковые характеристики зависят от множества различных факторов, от характеристик балластной призмы, от шпальной решетки, от используемых рельсов и т.д.

Одним из специализированных элементов верхнего строения пути являются подрельсовые и нашпальные прокладки. Их специализация заключается как раз в том, чтобы принять на себя значительную часть динамического воздействия со стороны движущегося экипажа. Помимо этого они выполняют важные противогонные функции, особенно в бесстыковом пути, а также выполняют функции электроизолирующего элемента. При расчетах динамики взаимодействия пути и подвижного состава рельсы зачастую рассматриваются как балки на упругом основании. При этом вводится понятие «коэффициент постели» [3]. Жесткость упругих прокладок является одной из базовых составляющих указанного параметра.

Для высокоскоростного движения используется преимущественно бесстыковой путь. Увеличение процентной доли бесстыкового пути в общей протяженности железных дорог является насущной потребностью сегодняшнего дня. В статье [4] отмечалось, что на ряде железных дорог РЖД протяженность бесстыковых путей превысила 70 процентов общей длины главных путей.

Существуют различные конструкции крепления рельсов для бесстыкового пути. В странах бывшего СССР для бесстыкового пути используются в основном рельсы Р65 и отдельные скрепления КБ-65 для них [5].

В статье [6] проводилось геометрическое моделирование указанных скреплений и расчет напряженно-деформированного состояния при помощи метода конечных элементов (МКЭ). Недостатком предложенной модели было то, что для нее использовались линейные упругие характеристики резины, используемой для подрельсовых прокладок. Хорошо известно, что резина имеет линейные или квазилинейные характеристики только в области относительно малых

деформаций. Являются ли таковые деформации в реальных эксплуатационных условиях малыми? – Скорее всего, нет. Но ответ на этот вопрос должен быть предметом дополнительного исследования. Целью исследований, описываемых в рассматриваемой статье, было определение характеристик упругих прокладок, используемых в скреплениях типа КБ-65, и создание математической модели материала указанных прокладок.

Почему поставленная цель является актуальной? В статье [7] указывается, что вертикальная жесткость скрепления КБ-65 изменяется в границах от 5 до 12 кН/м. Но в таком случае для расчета динамики взаимодействия пути и подвижного состава какая должна быть выбрана жесткость? Главной причиной такого значительного разброса жесткости являются нелинейные характеристики материала прокладок. Для подрельсовых и нашпальных прокладок чаще всего используются достаточно жесткие резины или полиуретаны. В статье [8] для них предлагается использовать новые материалы SYLOMER и SYLODYN. Тем не менее, приведенные графики зависимости сжимающая сила – перемещение показывают, что также как и для резиновых изделий указанные зависимости имеют нелинейный характер. Очевидно также, что большое значение имеет также выбор материала для указанных прокладок.

В рассматриваемой работе испытаниям были подвергнуты серийные подрельсовые прокладки согласно чертежам ЦП-318 или ЦП-356 с маркировкой ПРБ-4. Их испытания на сжатие проводились на прессе Zwick Z250 (рис. 1). Дополнительно были изготовлены стальные плиты, по размерам соответствующие подошве рельса и подкладке КБ-65. Их толщина (20 мм) была достаточна, чтобы по сравнению с деформациями прокладок считать их жесткими плитами.



Рис. 1. Испытания подрельсовых прокладок на прессе Zwick Z250

Испытания проводились для двух скоростей нагружения (1 мм/с и 5 мм/с). На рис. 2 приведены характерные графики нагружения и разгрузки прокладок. При этом тест №6 выполнялся со скоростью 1 мм/с, а тест №4 со скоростью 5 мм/с. Как видно из графиков, различия зависимостей для указанных скоростей минимальны. Очевидно, что указанные скорости нагружения невелики и подобное нагружения можно рассматривать как квазистатическое. На графиках видно также явление гистерезиса для нагружения и разгрузки резины. Очевидно, что если в дальнейшем рассматривать циклическое нагружение пути под действием колесных пар вагонов, указанное явление следует учитывать.

В задачу данной статьи учет явления гистерезиса не входил, поэтому далее рассматривался исключительно процесс нагружения прокладок. На рис. 3

показана статистическая обработка экспериментальных данных для различных тестов с использованием программы MS Excel.

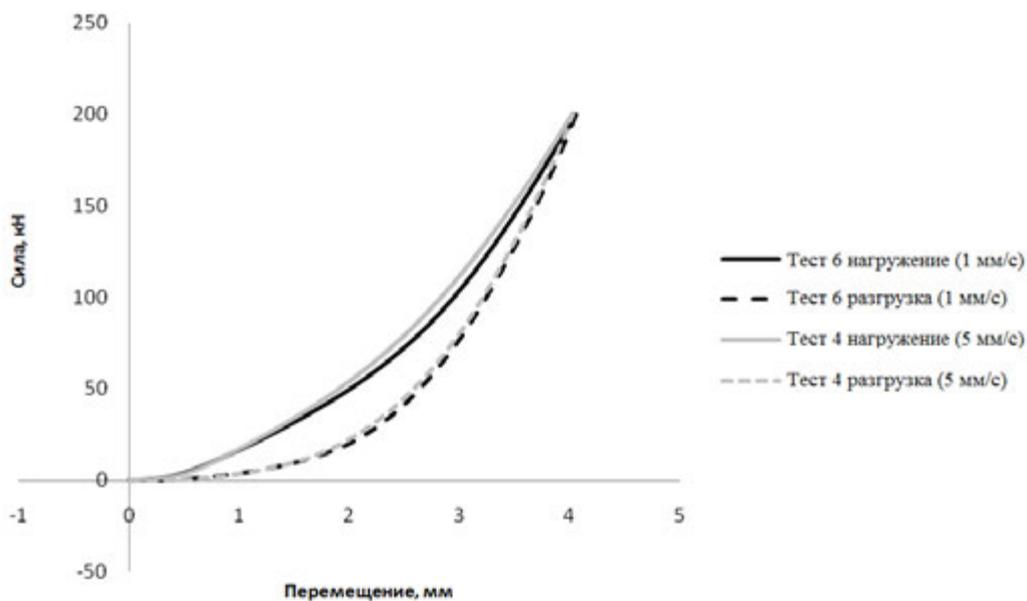


Рис. 2. Характерные графики цикла нагружение - разгрузка для различных скоростей (тест 6 для скорости 1 мм/с, тест 4 для скорости 5 мм/с)

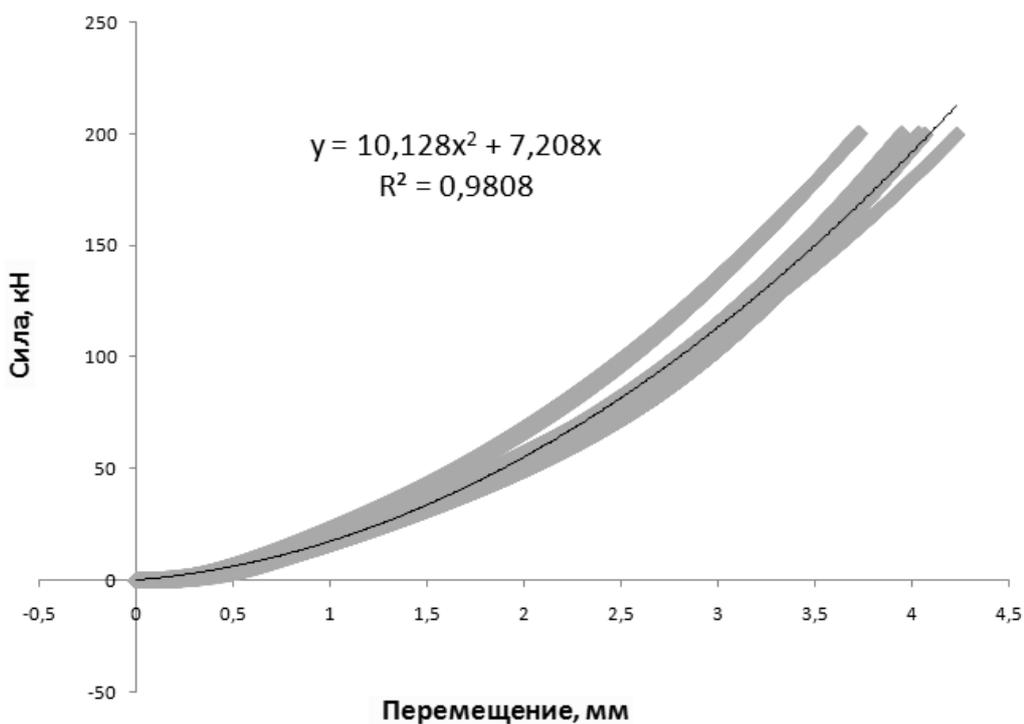


Рис. 3. Статистическая обработка экспериментальных данных с использованием программы Microsoft Excel

Приведенный рисунок показывает, что незначительный разброс экспериментальных данных имел место. Тем не менее, его величина невелика, о чем свидетельствует рассчитанное среднее квадратичное отклонение равное 0,9808 в том случае, если моделировать процесс нагружения следующей зависимостью

$$F = 10,128\Delta^2 + 7,208\Delta \quad , \quad (1)$$

где F - сжимающая сила в кН, а Δ - перемещение подвижной жесткой плиты при сжатии упругой прокладки в мм.

Как уже отмечалось выше в статье [6] автором рассматривалось моделирование деформирования упругих прокладок для креплений типа КБ-65 при помощи МКЭ. В настоящей статье КЭ модель была упрощена. Ее задачей было наиболее просто отобразить условия эксперимента, описанного выше. С этой целью были рассмотрены две модели упругих прокладок, которые отличались густотой КЭ сеток. Указанные модели показаны на рис. 4. Их отличие состоит в том, что первая модель (рис. 4а) содержит 16297 узлов и 11005 конечных элементов, в то время как вторая (рис. 4б) – 26854 узлов и 20734 элементов.

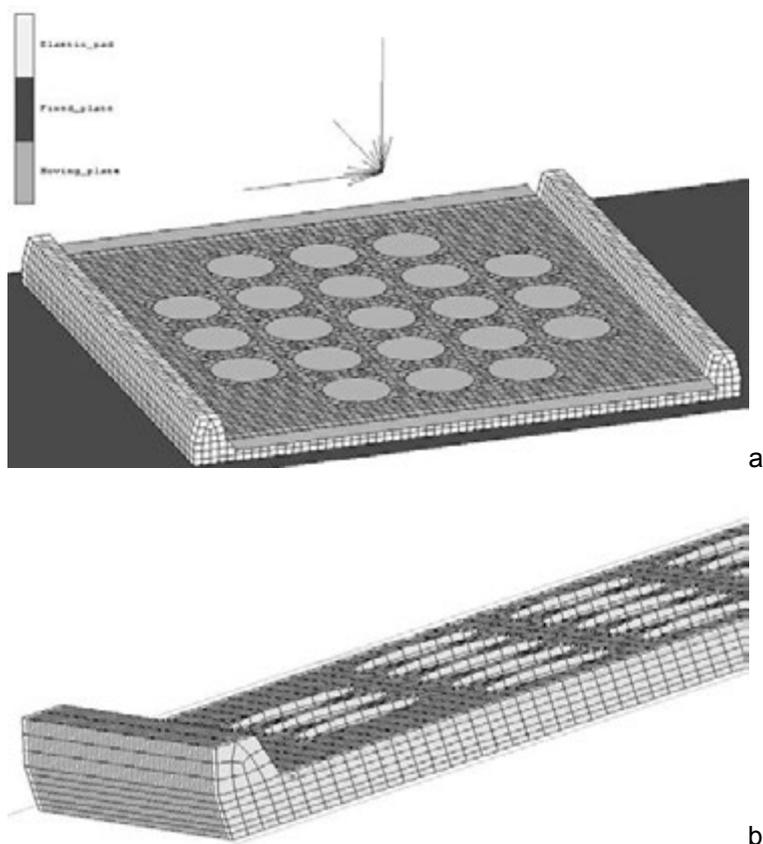


Рис. 4. КЭ сетки для двух моделей упругой подрельсовой прокладки

Результаты расчетов показали, тем не менее, что почти двукратное увеличение количества элементов не дает существенных изменений в полученных результатах, так что для сокращения времени счета следует пользоваться первой моделью. Что касается граничных условий, то помимо основного деформируемого тела (прокладки) задаются еще 2 жестких контактных тела: неподвижная плита (плоскость), которая на рис. 4а показана темно-серым цветом и подвижная плита (серый цвет). На рис. 4а указанная плита является как прозрачной, чтобы пока-

зять структуру КЭ сетки под ней. Согласно методике реализованной в MSC.MARC задается также дополнительный узел, привязанный к подвижной плите. Для данного узла задаются граничные условия – сжимающая сила, изменяющаяся в диапазоне от 0 до 112 кН. Здесь следует отметить, что было принято решение при моделировании не задавать больших значений сжимающей силы (в эксперименте величина заданной силы доходила до 200 кН), поскольку в эксплуатационных условиях сила на прокладку не должна превосходить значения 112 кН. Заданная сила изменялась линейно в зависимости от времени, что также соответствовало условиям эксперимента. На рис. 4а указанная сила показана стрелками, действующими на дополнительный узел.

На рис. 5 показано распределение нормальных контактных напряжений на различных стадиях нагружения.

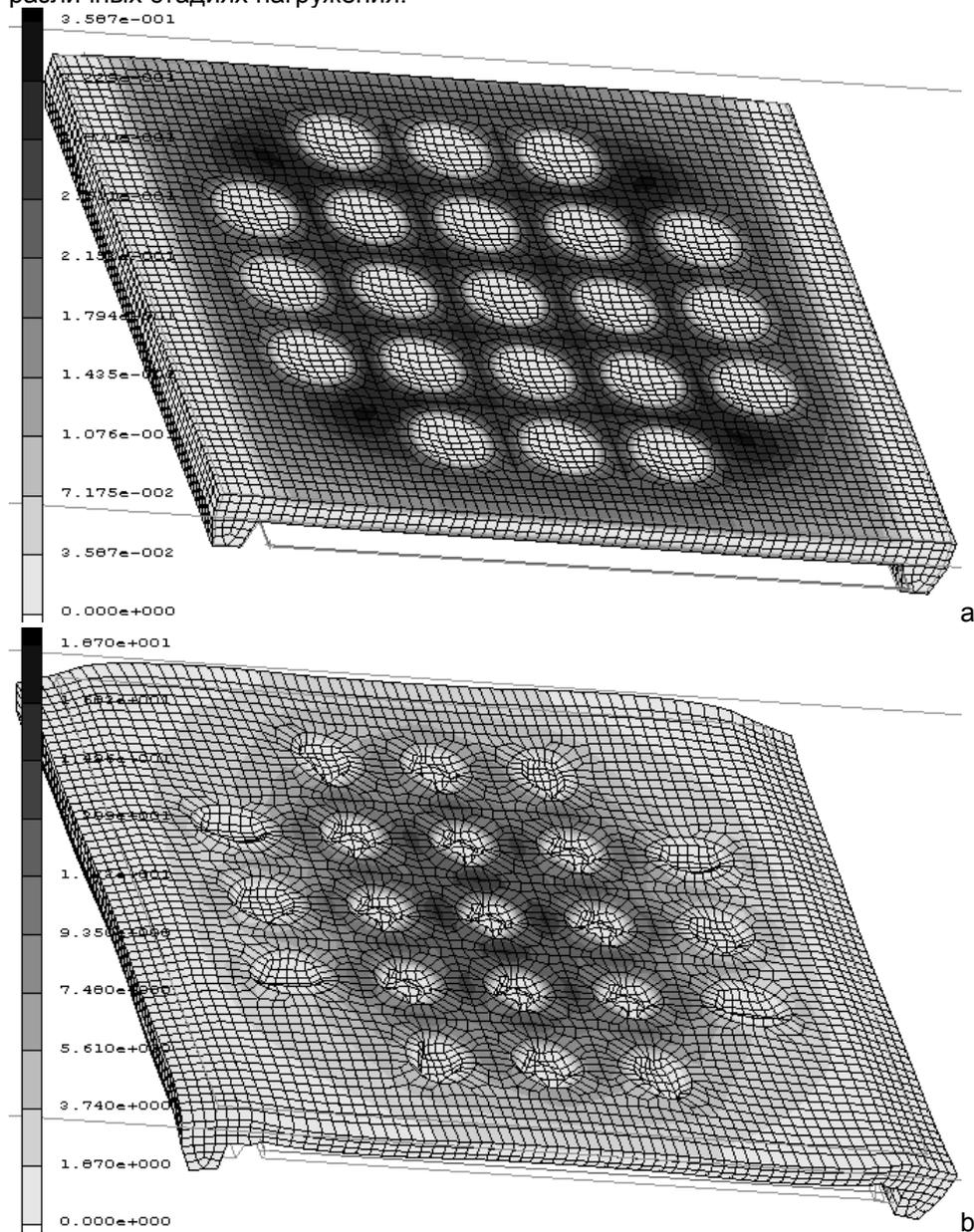


Рис. 5. Распределение нормальных контактных напряжений на начальной (а) и конечной стадии (б) нагружения

Приведенные распределения напряжений не должны создавать иллюзии, что на конечной стадии деформирования уровень контактных напряжений меньше, чем на начальной. О уровне свидетельствуют приведенные максимальные значения. Если для начальной стадии нагружения максимальные контактные напряжения равны 0,36 МПа, то на заключительной стадии – 1,87 МПа, т.е. более чем в 5 раз выше. Чем можно объяснить такое различие распределений? Причиной является более высокий градиент напряжений на рабочей поверхности. На начальной стадии распределение напряжений более равномерное, но в дальнейшем сказываются свойства резины, связанные с ее несжимаемостью. Согласно заданным граничным условиям между рабочими поверхностями прокладки и жестких плит возможно было кулоновское трение. Коэффициент трения сталь – резина был задан постоянным, равным 0,5. Вследствие возрастающей нагрузки материал прокладки стремится выскользнуть, что приводит к дополнительному деформированию особенно в зонах, прилегающих к краям прокладки. При этом уровень контактных напряжений в центральной зоне возрастает значительно быстрее, чем для приграничных зон.

На рис. 6 показано сравнение результатов расчета при помощи МКЭ, если заложить линейно упругий материал с модулем упругости 10 МПа и коэффициентом Пуассона 0,48. Как видно из представленных графиков для относительно малых деформаций (сжатие прокладки до 0,7 мм или сжимающая сила до 8 кН) графики достаточно хорошо совпадают, но далее их различие становится существенным. Это дает ответ на поставленный выше вопрос о применимости линейной теории.

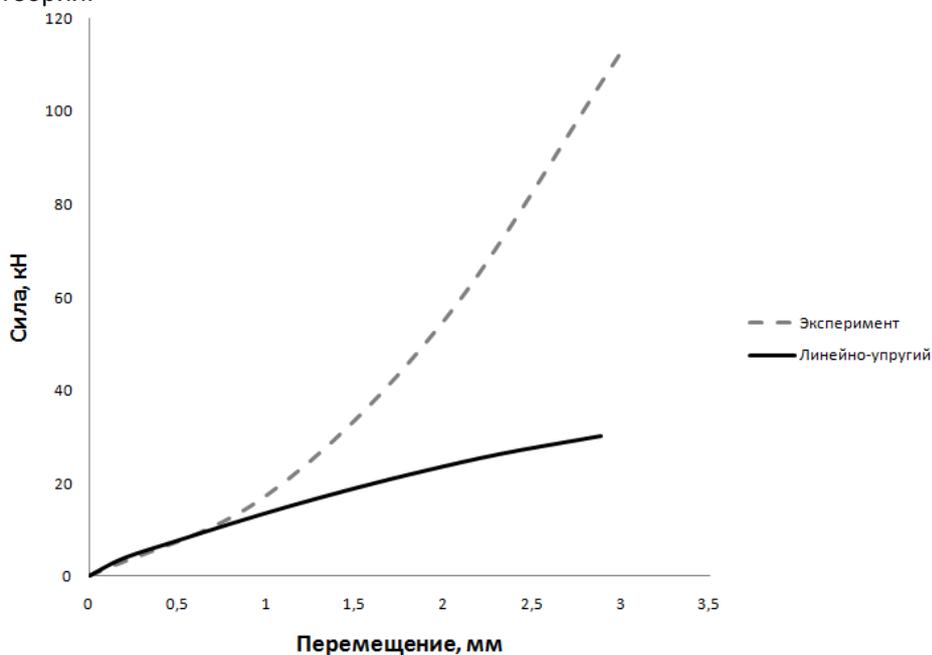


Рис. 6. Сравнение экспериментальных данных и результатов расчета по МКЭ для линейно-упругого материала прокладки

Недоумение может вызывать также нелинейный характер зависимости для заданного линейного материала. В данном случае оказывает влияние контактное взаимодействие на рабочих поверхностях между прокладкой и жесткими плитами. Если бы предположить, что на данных поверхностях имеет место полное склеивания, то кривая была бы линейной. Но согласно описанным выше условиям на контактных поверхностях реализуется микроскольжение, т.е. цен-

тральная часть контактной области находится в зоне сцепления, а периферийные части в зоне проскальзывания. Этот вывод подтверждают снимки прокладок, сделанные после цикла испытаний (рис. 7). Новые прокладки имели глянцевую поверхность резины. После испытаний периферийные области имеют явные следы потертости.



Рис. 7. Прокладка после проведения испытаний

Для моделирования гиперупругих свойств эластомеров в настоящее время существует несколько общепризнанных математических моделей. Часть из них реализована в пакете MSC.MARC. Указанная реализация предполагает вычисление на основе заданных экспериментальных данных констант, используемых в моделях. В качестве примера были выбраны несколько наиболее часто используемых моделей эластомеров [9].

Обобщенная модель Муни-Ривлина (Mooney-Rivlin) задает функциональную зависимость энергии деформаций W от трехчленного полинома следующего вида

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3, \quad (2)$$

где I_1, I_2 - соответственно, первый и второй инвариант тензора деформации Коши-Грина. Константы материала $C_{10}, C_{01}, C_{11}, C_{20}, C_{30}$ определяются экспериментально. В практике чаще всего используется не обобщенная модель, а ее частные варианты, где используются только некоторые члены указанного полинома.

Одной из таких моделей является модель Синьорини (Signiorini), где задается функциональная зависимость энергии деформаций W от трехчленного полинома

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2. \quad (3)$$

Для заданных экспериментальных данных (полученная на основании проведенного эксперимента зависимость напряжение – деформация) были определены

константы $C_{10} = 0,302$; $C_{01} = 0,043$; $C_{20} = 0,749$, которые в дальнейшем использовались для проведения численного расчета. На рис. 8 приведена зависимость сжимающей силы от перемещения подвижной жесткой плиты (черный пунктирный график) для модели Синьорини.

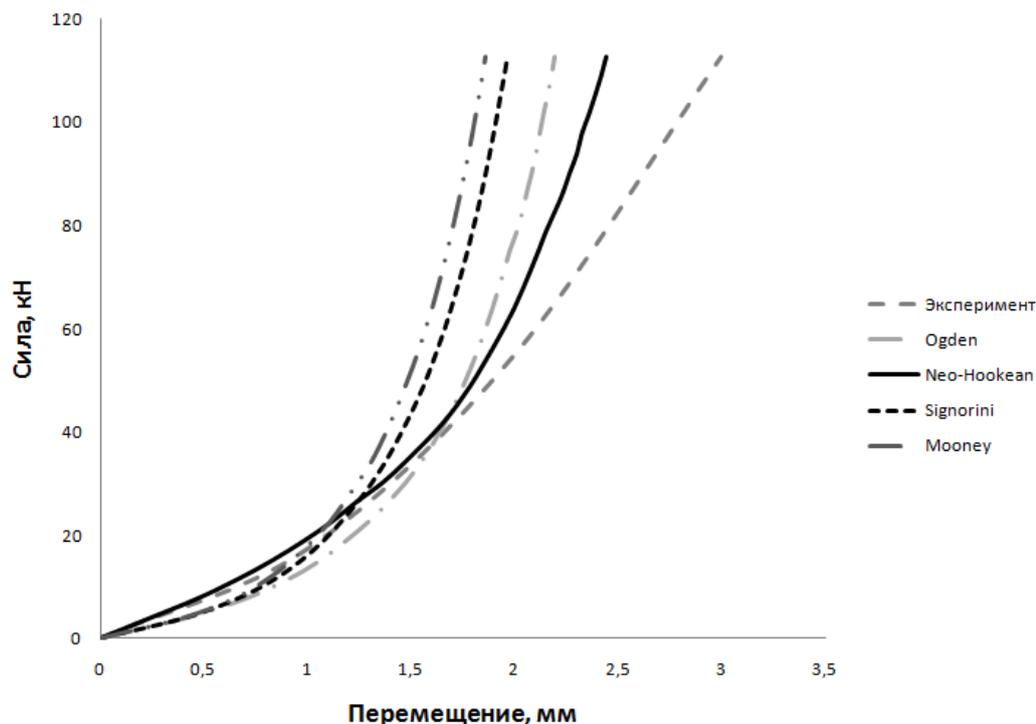


Рис. 8. Сравнение результатов расчета для различных моделей эластомеров с экспериментальными данными

Трехчленная модель Муни (Моонеу) задает функциональную зависимость энергии деформаций W от трехчленного полинома следующего вида

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) \quad (4)$$

Аналогично предыдущему были определены коэффициенты полинома $C_{10} = 0,293$; $C_{01} = 0,0069$; $C_{11} = 1,12$ и проведен расчет при помощи МКЭ. На рис. 8 данная зависимость показана темно-серой штрихпунктирной (двухточечной) кривой.

Была проанализирована также модель Огдена (Ogden). Ее математическое описание приведено в работе [9]. На рис. 8 этой модели соответствует серый штрихпунктирный (одноточечный) график.

Наиболее близкие к экспериментальным данным (серый пунктирный график) результаты показала неогуковская (Neo-Hookean) модель. Указанная модель также представляет собой частный случай обобщенной модели Муни-Ривлина, когда из полинома (2) выбирается только первый член

$$W = C_{10}(I_1 - 3) \quad (5)$$

Обработка экспериментальных данных позволила определить коэффициент $C_{10} = 0,617$. Проведенные расчеты по МКЭ описывает на рис. 8 сплошной черной график. Как видно из сравнения с экспериментальными данными до величины сжатия прокладки 1,8 мм или сжимающей силы около 55 кН этот график дает

очень хорошее соответствие с результатами эксперимента. Для больших нагрузок появляются определенные отличия, тем не менее, данная модель является наилучшей из всех рассмотренных.

В заключение можно подвести итог, что при помощи сравнения экспериментальных исследований с результатами численного моделирования при помощи МКЭ удалось найти приемлемую математическую модель эластомера, используемого для упругих подрельсовых прокладок. Указанная модель может быть в дальнейшем использована для исследования динамического взаимодействия пути и подвижного состава.

Список литературы

1. Сладковский А., Погорелов Д.Ю. Исследование динамического взаимодействия в контакте колесо-рельс при наличии ползунов на колесной паре. – Вісник Східноукраїнського національного університету. №5 (123) ч.1, 2008.
2. Wen Z., Jin X., Zhang W. Contact-impact stress analysis of rail joint region using the dynamic finite element method. – Wear. Vol. 258/7-8, 2005.
3. Абдуллаев С.С., Токмурзина Н.А., Пя Д.Р. Исследование методик расчета деформации рельса под действием подвижного состава. http://www.rusnauka.com/10_NPE_2008/Tecnic/30213.doc.htm
4. Совершенствование конструкции скоростного пути. - Евразия Вести. № 8, 2007.
5. Ермаков В.М., Виногоров Н.П. Бесстыковой путь на железных дорогах России. – Железные дороги мира. № 11, 2000.
6. Śladkowski A. Modeling of the deformation of elastic pads for rail fastenings. – Transport Problems. V.4, no.1, 2009.
7. Саржанов Т.С. Узлы промежуточных рельсовых скреплений. www.rusnauka.com/15.PNR_2007/Tecnic/21787.doc.htm
8. Эффективные подрельсовые и напальные прокладки из материалов SYLOMER и SYLODYN. - <http://www.acoustic.ua/articles/113>
9. Халаев А.А., Титенкова Е.Н. Оценка напряженно-деформированного состояния полимерных упругих элементов перспективного поглощающего аппарата автосцепки ГП-120А. - Вестник БГТУ, № 4 (16), 2007.