

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ПОДРЕЛЬСОВЫХ ПРОКЛАДОК ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

В роботі наведено результати досліджень напружено-деформованого стану пружних еластомерних підрейкових прокладок проміжного рейкового скріплення з використанням методу скінченних елементів та експериментальних випробувань.

RESEARCH OF THE TENSELY-DEFORMED STATE OF ELASTOMERNYKH SUBRAIL GASKETS OF INTERMEDIATE RAIL CLAMPING

The results of researches of the tensely-deformed state of resilient elastomernykh subrail gaskets of the intermediate rail clamping with the use of method of eventual elements and experimental tests are resulted in work.

Введение. Вопросам создания и совершенствования рельсовых промежуточных скреплений в железнодорожном, карьерном и подземном горном транспорте уделяется значительное внимание поскольку конструкция, параметры и используемые материалы промежуточных скреплений существенно влияют на надежность и безопасность работы рельсового транспорта, его текущее содержание, эксплуатационные расходы и обеспечение требуемых скоростей движения поездов.

В известных научных работах [1–8 и др.], патентах [9–10 и др.] и открытиях [11, 12 и др.] представлено ряд направлений совершенствования и развития конструкций промежуточных рельсовых скреплений, методов их расчета, результатов лабораторных и эксплуатационных испытаний.

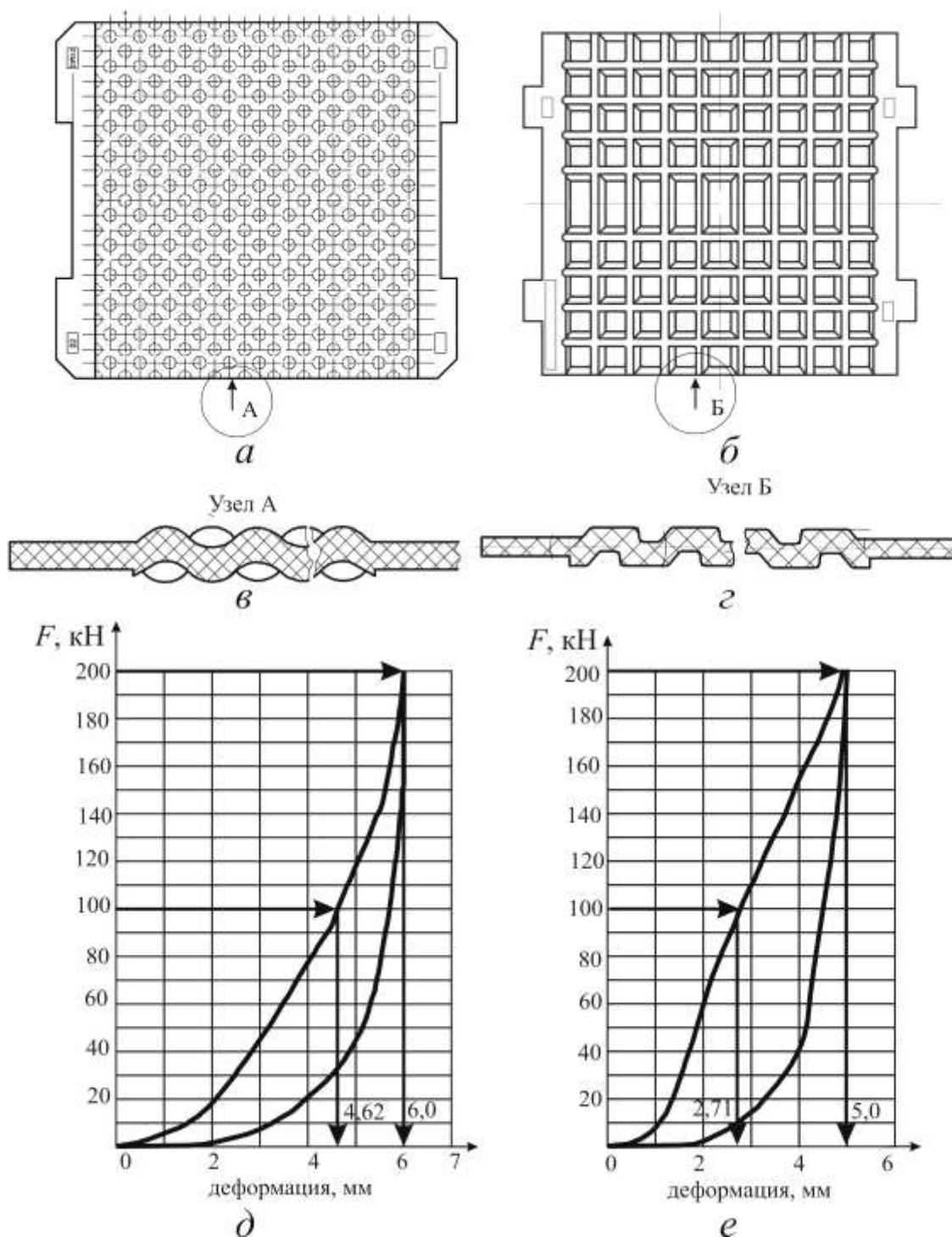
В дальнейшем необходимо более детально исследовать характеристики упруго-деформированного состояния элементов конструкции упругих промежуточных рельсовых скреплений, которые зависят от формы, размеров и физико-механических свойств эластомерных подрельсовых прокладок.

Постановка задачи. Определить влияние параметров рифлей контактных поверхностей и формы поперечных сечений эластомерных прокладок рельсового промежуточного скрепления на напряженно-деформированное состояние с использованием метода конечных элементов и экспериментальных исследований.

Определение напряженно-деформированного состояния исследуемых эластомерных прокладок. Для исследования влияния формы рифлей, а также контактных поверхностей со стороны подошвы рельса и подрельсовой подкладки (или железобетонной шпалы) и глубинной части эластомерных прокладок на напряженно-деформированное состояние рассмотрим две характерные конструкции.

Серийные эластомерные прокладки с синусовидной формой рифлей, показанные на рис. 1, а (скрепление типа КПП-5 и КПП-7) соответствуют

патенту [9], а также с трапецевидной формой рифлей, показанные на рис.1, б (скрепление типа КПП-6), соответствуют патенту [10]. Прокладки соответствуют ТУ У35.2-30268559-080-2002 (тип ПРП-2.1) и ТУ У35.2-30268559-209д-2006 (тип ПРП-6).



a, б – вид сверху; *в, г* – вид спереди; *д, е* – фактические силовые характеристики

Рис. 1 – Эластомерные прокладки типов ПРП 2.1 (*a, в, д*) и ПРП 6 (*б, г, е*)

На рис. 1, *д*, *е* показаны фактические силовые характеристики эластомерных прокладок синусовидной и трапециевидной форм рифлей, полученные при экспериментальных исследованиях образцов данной партии завода изготовителя (Корпорация «Путевые и ремонтные технологии»). Процесс нагружения и разгрузки прокладок осуществлялся нагрузками величиной от 0,0 до 200, 0 кН.

Прокладки изготовлены из термопластического полиуретана марок Витур Т-1413-85 по ТУ 6-05-221-526-85.

Жесткостные характеристики для этого материала приняты следующие: модуль упругости $E=55,0$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu=0,45$.

Из анализа рис.1, *д*, *е* видно, что оба типа прокладок имеют выраженную характеристику упругой деформации при нагружении и разгрузке экспериментальных образцов. Прокладки с синусовидной формой рифлей (типа ПРП-2.1) и с трапециевидной формой рифлей (типа ПРП-6) имеют величину упругой деформации при нагружении 100,00 кН соответственно 4,62 мм и 2,71 мм, а при нагружении 200,0кН, соответственно 6,0 мм и 5,0 мм.

Величина деформации прокладок с синусовидной формой рифлей превышает величину деформации прокладок с трапециевидной формой в 1,7 раза при нагружении до 100,0 кН и в 1,2 раза при нагружении до 200,0 кН. Причиной повышенной деформации прокладок с синусовидной формой рифлей, по сравнению с трапециевидной формой, является увеличенная деформируемость вершук синусовидных рифлей при малой величине контактной поверхности и конусообразной форме тела рифлей. Эти вершук создают повышенную деформируемость в начальной стадии нагружения больше на 1,5-2,0 мм по сравнению с трапециевидной формой рифлей. В дальнейшем такая форма вершук с синусовидной формой рифлей приводит к повышению напряжений и износу [8].

Данная задача имеет физическую нелинейность, так как для прокладок использовались эластомерные материалы в виде полиуретана. Кроме этого имеет место геометрическая нелинейность, вызванная наличием переменных геометрических параметров рифлей, а также нелинейной деформируемостью прокладок от нагрузки.

Решение задачи осуществлялось с использованием метода конечных элементов, программного обеспечения комплекса SolidWorks.

На рис. 2, *а*, *б* показаны общий вид прокладки типа ПРП-6 с рифлями трапециевидной формы и конечно-элементная расчетная схема прокладки.

При расчете прокладки решалась контактная задача трех тел: жесткая подошва рельса–упругая прокладка–жесткая подкладка (или железобетонная шпала). Коэффициент трения между прокладкой и смежными жесткими элементами принимался равным 0,5.

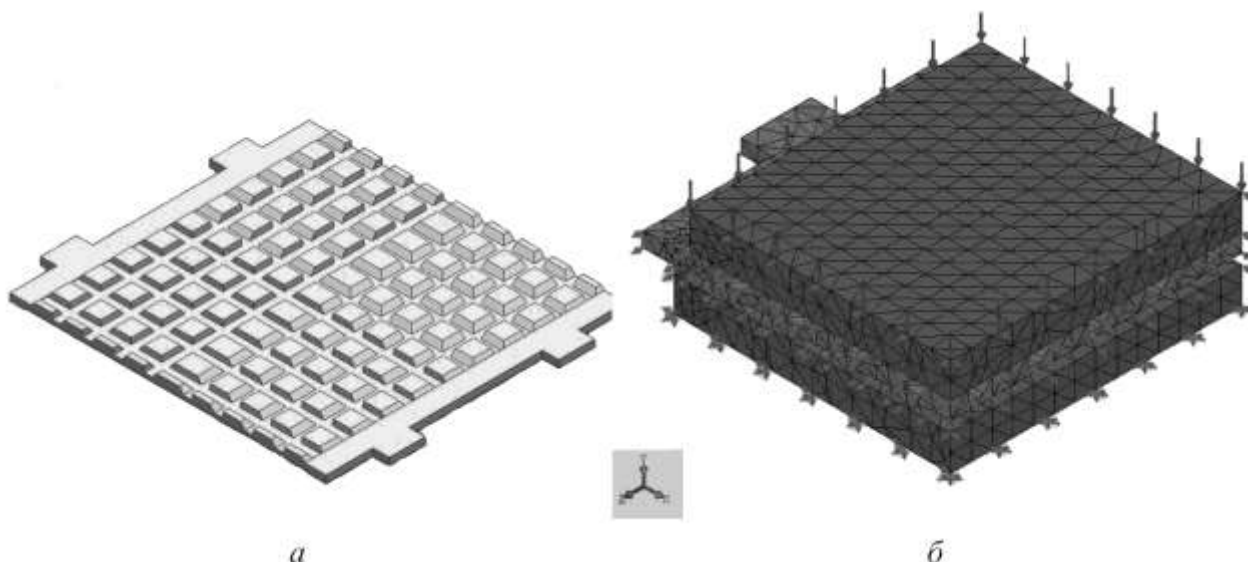


Рис. 2 – Прокладка типа ПРП-6 с рифлями трапециевидной формы (а) и ее конечно-элементная расчетная схема (б)

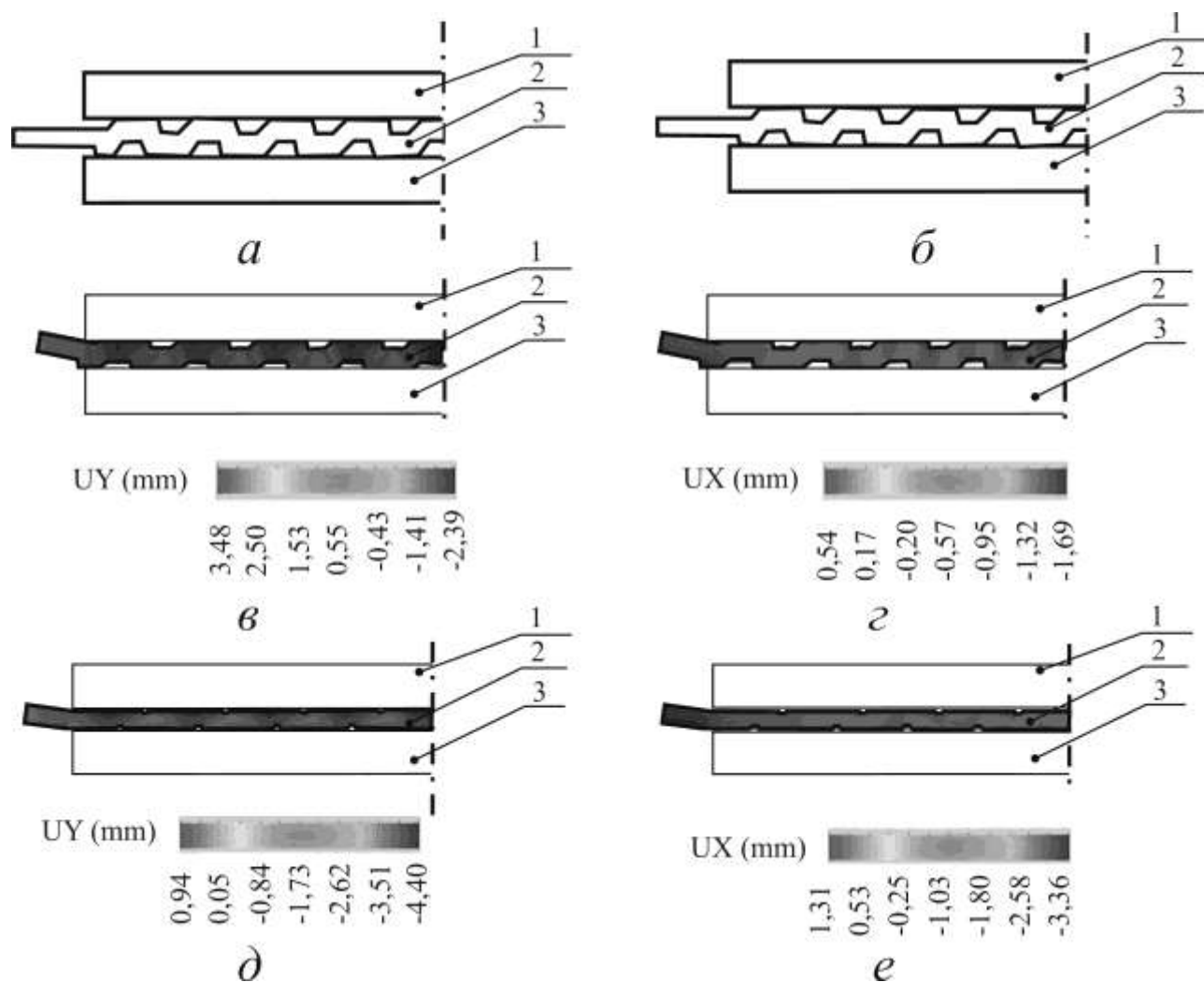
В качестве приоритетов при решении данной задачи были выбраны, в первую очередь, граничные условия, а затем диаграмма деформации прокладки от нагружения (см. рис. 1, е), полученная экспериментальным путем.

Нагружение прокладки производилось поэтапно ввиду нелинейности жесткостной характеристики прокладки. Величина модуля упругости материала уточнялась в ходе расчета с учетом диаграммы сжатия прокладки.

На рис. 3 показаны формы прокладок до деформации (рис.3, а, б), после нагружения силой 100,0 кН (рис.3, в, г) и после нагружения силой 200,0 кН (рис.3, д, е). Кроме этого на этих рисунках приведены поля абсолютных вертикальных (UY) (рис. 3, в, д) и горизонтальных (UX) (рис. 3, г, е) деформаций (мм) прокладки, зажатой между подошвой рельса и подкладкой (или шпалой).

Из рис. 3 видно, что материал прокладки находится в сложном напряженно-деформированном состоянии, а силы трения между взаимодействующими телами в некоторых зонах контакта (в некоторых краевых рядах рифлей по контуру прокладки) не удерживают материал прокладки от сдвига. В этих зонах удельные силы сдвига превышают удельные силы сопротивления сдвигу. Концевые участки прокладки выдавливаются с промежутка между подошвой рельса и подкладки (шпалы).

Распределение эквивалентных напряжений σ^{IV} МПа, рассчитанных по 4-ой теории прочности в прокладке ПРП-6 от действия активных сжимающих сил $F_1 = 100,0$ кН и $F_2 = 200,0$ кН, приведено на рис. 4. Из рисунка видно, что наибольшие расчетные напряжения $\sigma_p^{IV} = 26,0$ МПа возникают в угловых точках контакта поверхности прокладки с сжимающими поверхностями подошвы рельса и подкладки (шпалы), как при сжимающей силе $F_1 = 100,0$ кН так и при силе $F_2 = 200,0$ кН.



в, д – вертикальные поля распределения абсолютных деформаций; г, е – горизонтальные поля распределения абсолютных деформаций; а, б – при сжатии силой 0,0 кН; в, г – при сжатии силой 100,0 кН; д, е – при сжатии силой 200,0 кН; 1 – подошва рельса, 2 – эластомерная прокладка, 3 – металлическая подкладка

Рис. 3 – Поля распределения абсолютных деформаций в вертикальной плоскости симметрии прокладки типа ПРП-6

Достигнутое напряжение 26,0 МПа при силе $F_1 = 100,0$ кН сохраняется при дальнейшем увеличении нагрузки до $F_2 = 200,0$ кН. При этом происходит перераспределение деформаций и напряжений в другие области прокладки.

В таблице 1 приведены результаты квазистатического расчета прокладки ПРП-6 при действии вертикальной расчетной нагрузки.

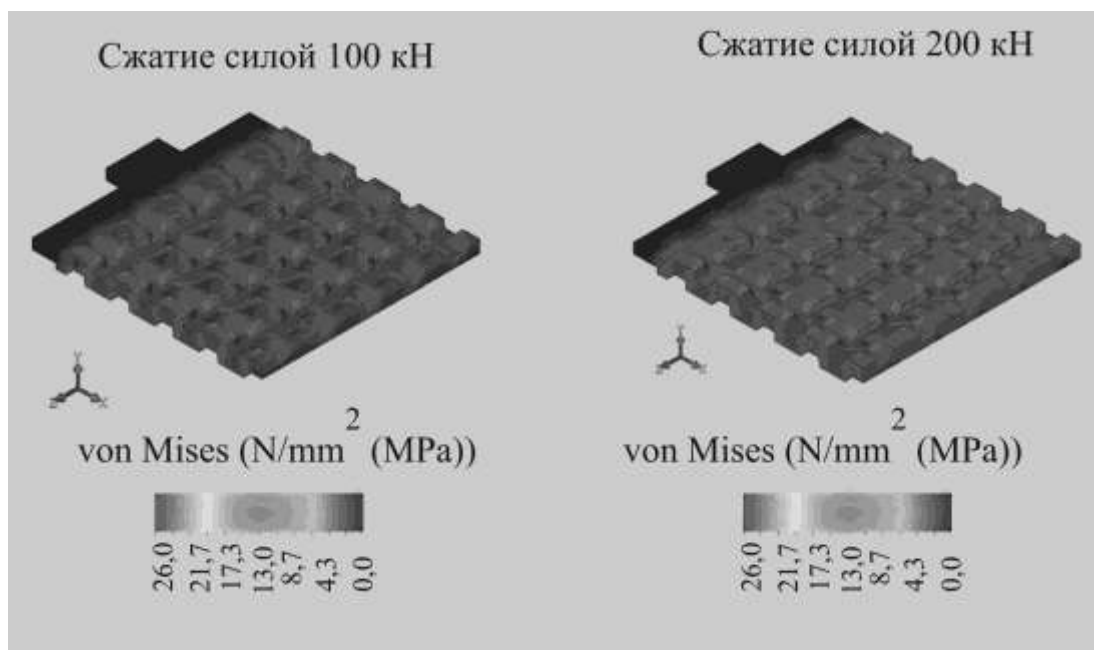


Рис. 4 – Распределение эквивалентных напряжений σ^{IV} МПа, рассчитанных по 4-ой теории прочности, в прокладке ПРП-6 от действия активных сжимающих сил

Таблица 1 – Результаты квазистатического расчета прокладки ПРП-6 при действии вертикальной расчетной нагрузки

№ п/п	F, кН	UY, мм	σ_p^{IV} , МПа	E, МПа	k, кН/мм
1	100	2,39	26,0	46,5	41,8
2	200	4,40	26,0	26,4	49,8

Кроме деформаций, напряжений и модуля упругости в таблице приведены расчетная жесткость прокладки k (кН/мм). Так как на каждом из этапов нагружения прокладки решалась линейная задача, эта жесткость определялась из выражения

$$k_i = \frac{F_i - F_{i-1}}{Y_i - Y_{i-1}},$$

где F_i, F_{i-1} – силы, действующие в отдельных участках нагружения; Y_i, Y_{i-1} – деформации, соответствующие отдельным участкам действующих нагрузок.

Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния синусовидных (ПРП-2.1) и трапециевидных (ПРП-6) прокладок показывает, что в вершинах рифлей синусовидной прокладки увеличена деформируемость на 1,5-2,0 мм, т.е. в 1,7 раза [8] по сравнению с рифлями трапециевидной прокладки. При этом сжимающие напряжения в вершинах рифлей синусовидной прокладки в верхней и нижней плоскостях достигают $\sigma_z = 54,6$ МПа, а сжимающее напряжение в вершинах и теле рифлей

трапецевидной прокладки равны $\sigma_p = 26,0 \text{ МПа}$, т. е. в 2,1 раза меньше.

Выводы. Рассмотрена задача исследований упругих подрельсовых прокладок, имеющих физическую нелинейность из-за применения эластомерных материалов в виде полиуретана, геометрическую нелинейность в результате наличия переменных геометрических параметров рифлей, а также криволинейную закономерность деформируемости прокладок от нагрузки при постепенном изменении площади поверхности контактирующих тел и формы рифлей.

Получено напряженно-деформированное состояние упругих эластомерных подрельсовых прокладок промежуточного рельсового скрепления с использованием метода конечных элементов и метода последовательных приближений с использованием метода экспериментальных исследований.

Установлено, что величина трения между контактирующими поверхностями упругой прокладки и смежных изделий (подошва рельса и подкладки (или шпала)) оказывает существенное влияние на объемную деформацию и сложное напряжение в прокладке, а концевые участки прокладки могут выдавливаться с проема между подошвой рельса и подкладкой (шпалой).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение надежности работы верхнего строения пути в современных условиях эксплуатации. Сб. науч. тр. / Под ред. Л.Г. Крысанова. – М.: Интекст, 2000. – 142 с.
2. Карпущенко Н.И. Совершенствование рельсовых скреплений / Н.И. Карпущенко, Н. И. Антонов. – Новосибирск: Из-во СГУС, 2003. – 300 с.
3. Надежность железнодорожного пути / В.С. Лысюк, В.Б. Каменский, Л.В. Башкатова; Под ред. В.С. Лысюка. – М.: Транспорт, 2001. – 286 с.
4. Говоруха В.В. Прогнозирование долговечности резиновых прокладок промежуточных скреплений рельсового пути с учетом нестабильности свойств материала / В.В. Говоруха // Межд. Симпозиум «Механика эластомеров». – 2001, Днепропетровск, окт. 2001 г.: Тез. докл. – Д., 2001. – С. 11.
5. Говоруха В.В. Обобщенные нелинейные модели деформирования и разрушения и методы прогнозирования долговечности вязкоупругих элементов рельсового пути / В.В. Говоруха // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр./ ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2001. – Вып. 24. – С. 94–113.
6. Говоруха В.В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений / В.В. Говоруха: Моногр. – Днепропетровск: Лира, 2005. – 388 с.
7. Говоруха В.В. Исследования нагруженности, прочности и деформации рельсовых скреплений / В.В. Говоруха // Вісник Дніпропетр. Нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вып. 11. – Д., 2006. – С. 29–40.
8. Говоруха В. В. Метод определения рациональных параметров эластомерных подрельсовых прокладок для промежуточных рельсовых скреплений / В.В. Говоруха // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр./ ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 88. – С. 219–234.
9. Декларацийний патент на винахід. Україна (UA) МКП⁷ E01B9/54. Прокладка / В.В.Говоруха, М.Д. Костюк, Я.В. Дубневич. – № 49767A; Заявлено 13.06.2002. Опубл. 19.09. 2002, Бюл.»№ 9. – 3 с.
10. Патент на промисловий зразок Україна (UA) МКП 12-99. Прокладка підрейкова / В.В. Говоруха- № 17119; Заявлено 12.05.2008; Опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15. – 6 с.:іл. 5.
11. Говоруха В.В. Закономерность изменения интенсивности старения резины при ее циклическом деформировании / В.В. Говоруха, В.И. Дырда: Диплом № 220 на научное открытие. Заявка № А–262 от 23 дек. 2002 г. – М.: регистрац. 3 262 от 27 февр. 2003 г.
12. Говоруха В.В. Закономерность скачкообразного фазового перехода метастабильного состояния эластомеров к лабильному при циклическом нагружении, предшествующего их усталостному разрушению / В.В. Говоруха, В.И. Дырда: Диплом № 234 на научное открытие. Заявка на открытие № А–278 от 13 июня 2003 г. – М., регистрац. № 278 от 23 окт. 2003 г.

Академік НАН України А.Ф. Булат,
кандидати техн. наук
Т.В. Бунько, І.Є. Кокоулін
(ІГТМ НАН України)
канд. техн. наук І.О. Яценко
(Міненерговугілля України)

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ З НЕВИЗНАЧЕНИМИ СТРУКТУРОЮ ТА АЕРОДИНАМІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Разработаны методологические основы расчета вентиляционных систем угольных шахт с неопределенными структурой и аэродинамическими параметрами для условий глубоких метанообильных шахт

METHODOLOGICAL BASIS CALCULATION OF VENTILATION SYSTEMS WITH INDEFINITE BY STRUCTURE AND AERODYNAMIC PARAMETERS

Methodological bases of calculation of the ventilation systems of coal mines with indefinite by a structure and aerodynamic parameters for the conditions of deep methane-abundant mines are developed.

Актуальною науковою проблемою залишається розвиток теорії і методів розрахунку вентиляційних систем з невизначеною структурою і аеродинамічними параметрами. Вказана проблема включає цілий ряд задач, а саме: обґрунтування комплексного критерію структурно-параметричної адекватності, формалізованого інваріантного способу відображення неконтрольованих зон шахтних вентиляційних систем (ШВС) нелінійними багатоплюсниками, встановлення закономірностей формування областей керованості і управління в складних багатовентиляторних ШВС, і упровадження інформаційно-аналітичних технологій вентиляційних розрахунків, рішення яких має важливе значення для створення безпечних і здорових умов праці у вугледобувній галузі.

У нинішній час основними діями по керуванню аерогазовим режимом шахт є рудникова вентиляція. При цьому необхідно враховувати те, що параметрів, які необхідні для моделювання функціонування вентиляційної системи у нормальних та аварійних режимах завжди недостатньо – їх просто неможливо вимірити у потрібному обсязі у ході повітряно-депресійних зйомок (ПДЗ). Тому потрібна розробка спеціальних методів розрахунку вентиляційних параметрів в умовах недостатньої і не досить достовірної інформації про стан ШВС. При цьому треба враховувати той факт, що на глибоких метанових шахтах виникають і проблеми комплексної дегазації вугільних пластів і вміщуючих порід, а при наявності великого метановиділення – не тільки викиду надлишків метану засобами вентиляції, але і його використання, як цінного альтернативного виду палива.

На порядку денному стоять наступні задачі: