

В.В. Говоруха, А.В. Говоруха

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПРУГИХ ПРОКЛАДОК ПРОМЕЖУТОЧНОГО РЕЛЬСОВОГО СКРЕПЛЕНИЯ ПУТЕВОЙ СТРУКТУРЫ

*Аннотация. Рассматриваются методы исследований упругости элементов рельсового пути железнодорожного, промышленного и подземного транспорта. Приведены характеристики эластомерных прокладок промежуточного скрепления путевой структуры, полученные теоретическим методом и экспериментально.*

*Ключевые слова: путевая структура, промежуточное скрепление, эластомерные прокладки, метод конечных элементов, нагрузки, деформации, напряжения.*

### Введение

Современная конструкция рельсового пути подземного, промышленного и железнодорожного транспорта должна обеспечивать безопасность при повышенных скоростях движения, а также иметь повышенный ресурс работы как конструкции пути в целом, так и всех ее составных элементов. При этом работоспособность каждого составного элемента пути является определяющим фактором для всей путевой структуры, поскольку при капитальных ремонтах заменяется вся рельсошпальная решетка, а не отдельные ее элементы. Из этого следует важность обеспечения одинакового срока службы всех частей конструкции не зависимо от функционального назначения каждой из них.

Одними из наиболее нагруженных, напряженных и разрушаемых элементов конструкции путевой структуры являются упругие прокладки промежуточного рельсового скрепления.

Правильно сконструированные упругие прокладки благодаря своим свойствам и функциям снижают напряженно-деформированное состояние всех элементов рельсового пути за счет равномерного перераспределения силового воздействия от подвижного состава на большее количество опорных элементов, т.е. шпал. Вместе с тем упругие прокладки промежуточного рельсового скрепления являются аморти-

заторами колебаний всей транспортной системы, уменьшающими нагруженность и вибрации.

Именно этими физико-механическими свойствами определяются основные технические требования к упругим прокладкам промежуточного рельсового скрепления.

Этой важной проблеме посвящено большое количество исследований и публикаций, среди которых следует отметить работы Л.Г. Крысанова, Н.И. Карпущенко, Н.И. Антонова, В.С. Лысюка, Г.М. Шахунянца, М.А. Фришмана, Б.А. Евдокимова, Е.М. Бромберга, М.Ф. Вериги, В.Н. Данилова, А.А. Демидова, В.Б. Каменских, Л.В. Башкатова [1-2 и др.].

В монографии [3] изложены методы расчета напряженно-деформированного состояния упругих прокладок, представлены результаты определения вязкоупругих свойств прокладок и методы прогнозирования их долговечности с учетом нестабильности механических характеристик в процессе эксплуатации.

В дальнейшем необходимо более детально исследовать характеристики усталости, прочности и деформируемости элементов конструкции промежуточных скреплений, которые зависят от характера распределения, формы и физико-механических свойств эластомерных прокладок.

### **Постановка задачи**

Целью работы является исследование влияния параметров рифлей и форм контактной поверхности эластомерных прокладок рельсового промежуточного скрепления на их напряженно-деформированное состояние на основе реализации метода конечных элементов с подтверждением экспериментальными исследованиями.

Форма и размеры контактной поверхности эластомерных прокладок не должны допускать полного заполнения их материалом даже при максимальных нагрузках от подвижного состава на промежуточное рельсовое скрепление, включая наиболее нагруженный его элемент прокладку. В крайнем случае, вертикальная жесткость прокладок будет иметь характеристики плоского листа из эластомерного материала. Вместе с этим контактные опорные поверхности прокладок не должны ослабляться рифлениями до такого состояния, чтобы давления на контактных поверхностях, напряженно-деформированное

состояние рифлей и конструкции прокладки в целом превышали допустимые значения.

### **Определение упругих характеристик эластомерных прокладок экспериментальным методом**

Для выполнения функции упругого элемента и амортизатора эластомерные прокладки должны иметь рациональную форму для обеспечения рациональной вертикальной жесткости, а также внутреннего трения и напряжения в материале.

Укладкой в путь эластомерных прокладок рациональной упругости можно существенно уменьшить неравномерность накопления остаточных деформаций рельсового пути. Если за рациональную жесткость промежуточных рельсовых скреплений принять такую, при которой наблюдается равенство значений интенсивности накопления остаточных деформаций при железобетонных и деревянных шпалах, то для безстыкового и стыкового пути она примерно составляет 10,0–120,0 кН/мм.

Такую жесткость промежуточных скреплений можно получить посредством укладки в путь резиновых нащпальных прокладок толщиной 10,0-14,0 мм, подрельсовых резиновых прокладок толщиной 7,0-9,0 мм, а также полиуретановых прокладок толщиной 7,0-8,0 мм.

Упругие свойства эластомерных прокладок или промежуточных скреплений в целом необходимо оценивать динамической жесткостью, которая по результатам экспериментальных исследований [4], значительно больше статической жесткости вследствие увеличения скорости приложения вертикальной поездной нагрузки. В этом случае также реализуются силы внутреннего трения в материале прокладок, препятствующие мгновенному развитию высокоэластичной деформируемости. В связи с этим первоначальная толщина прокладок не восстанавливается, так как период приложения динамической нагрузки значительно меньше, чем период полного восстановления исходных размеров прокладок (см. рис. 1).

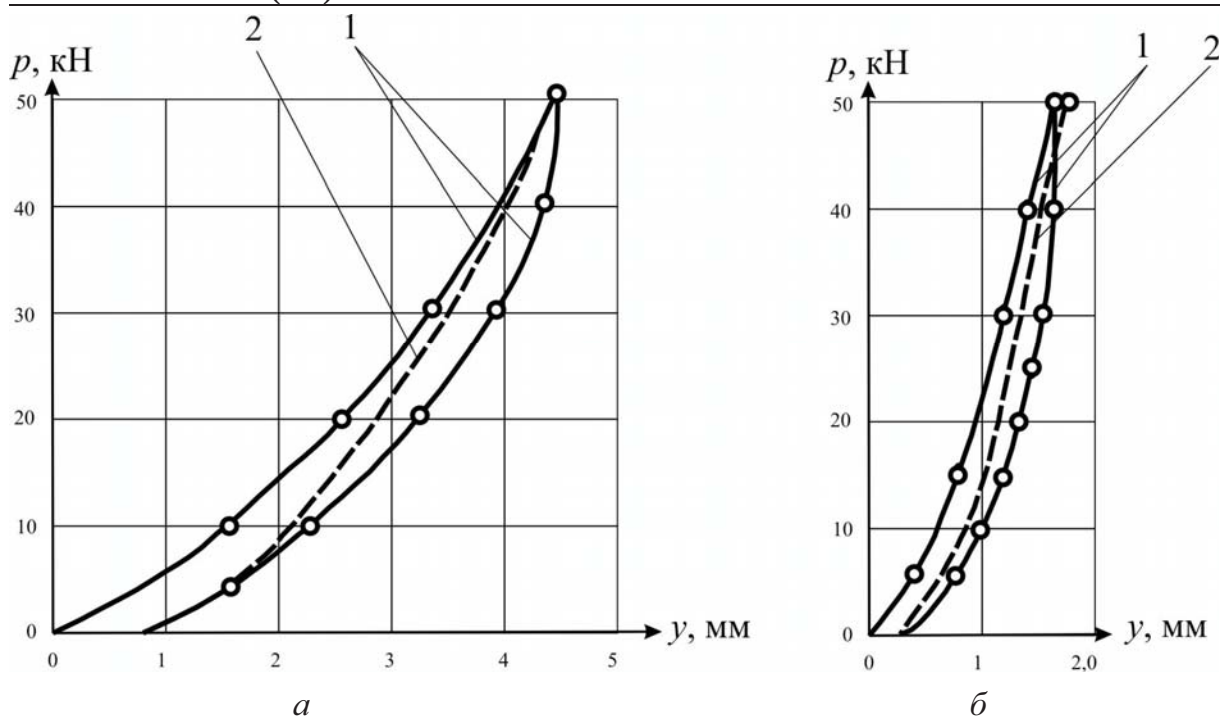


Рисунок 1 – Зависимость перемещений пути от статических (1) и динамических (2) нагрузок: *a* – шпалы деревянные; *б* – шпалы железобетонные

При определении характеристик упругости прокладок из различных материалов, включая различные марки резины, полиуретана, полиамида, необходимо учитывать влияние формы рифлей, как контактной поверхности, так и глубинной части прокладок.

На рис. 2, *a*, *б* показаны эластомерные прокладки синусоидальной (*в*) и трапециодальной (*г*) формы рифлей, изготовленные на заводах Украины [3; 5; 6] из полиуретана.

На рис. 2, *д*, *е* показаны соответственно силовые характеристики опытных образцов прокладок синусоидальной и трапециевидной формы рифлей, полученные при экспериментальных исследованиях образцов. При этом величина упругой деформации полиуретановых прокладок при статическом «нагружении-разгрузении» величиной нагрузки от 0,0 до 100,0 кН составляет 3,00-3,10 мм.

На рис. 3, *a*, *б* показаны эластомерные шумопоглощающая и протекторная прокладки. На рис. 3 *д*, *е* показаны соответственно силовые характеристики опытных образцов этих прокладок, полученные при экспериментальных исследованиях образцов. Величина упругой деформации опытных резиновых прокладок при статическом

«нагружении-разгрузении» величиной нагрузки от 0,0 до 100,0 кН составляет 4,00-4,15 мм.

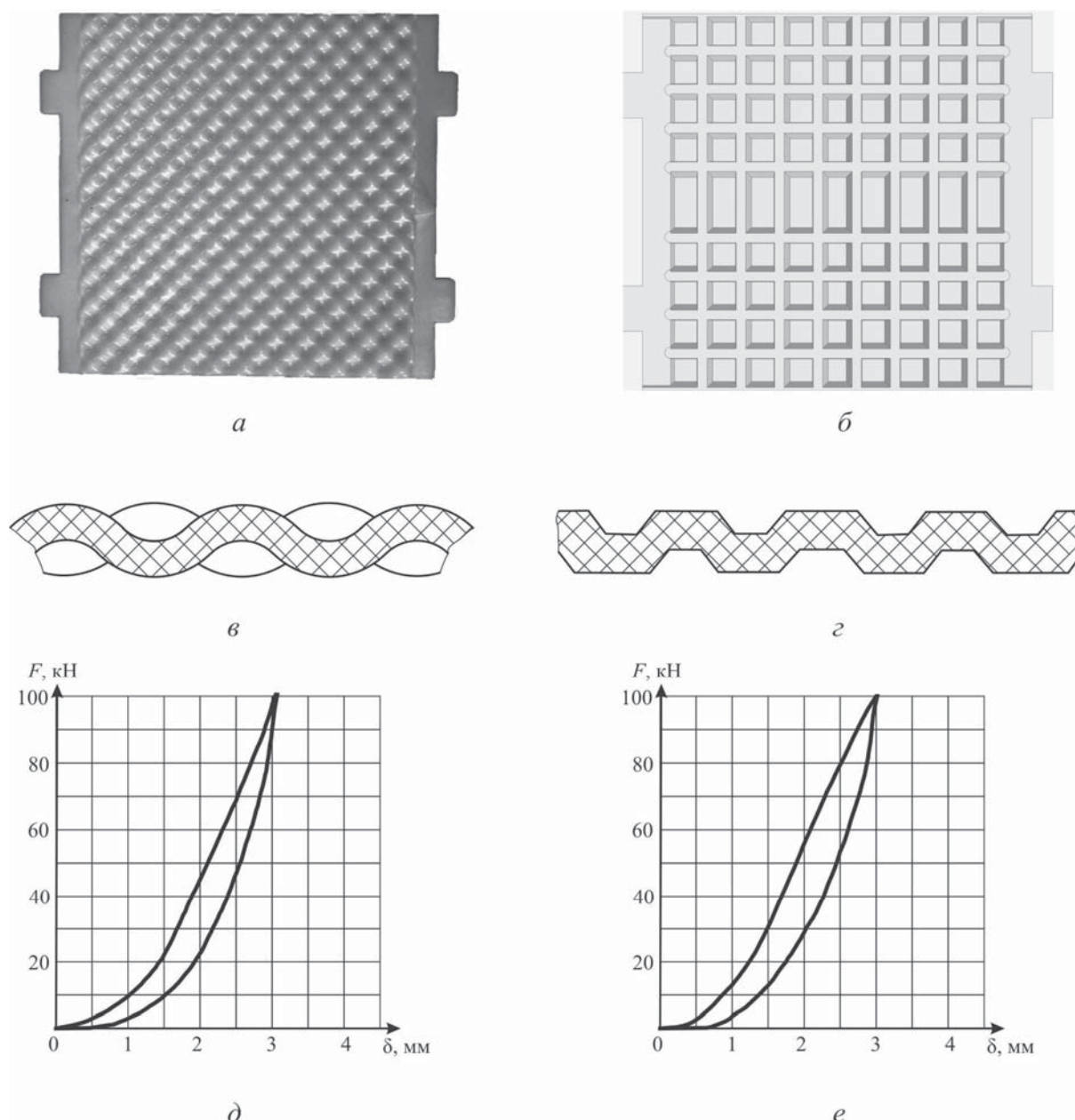


Рисунок 2 – Эластомерные прокладки с различной формой рифлей, изготовленные из полиуретана:

*а* – с синусоидальными рифлями вида (*в*); *б* – с трапециевидальными рифлями вида (*з*); *д*, *е* – силовые характеристики процесса нагружения-разгружения прокладок с синусоидальными и трапециевидальными рифлями соответственно

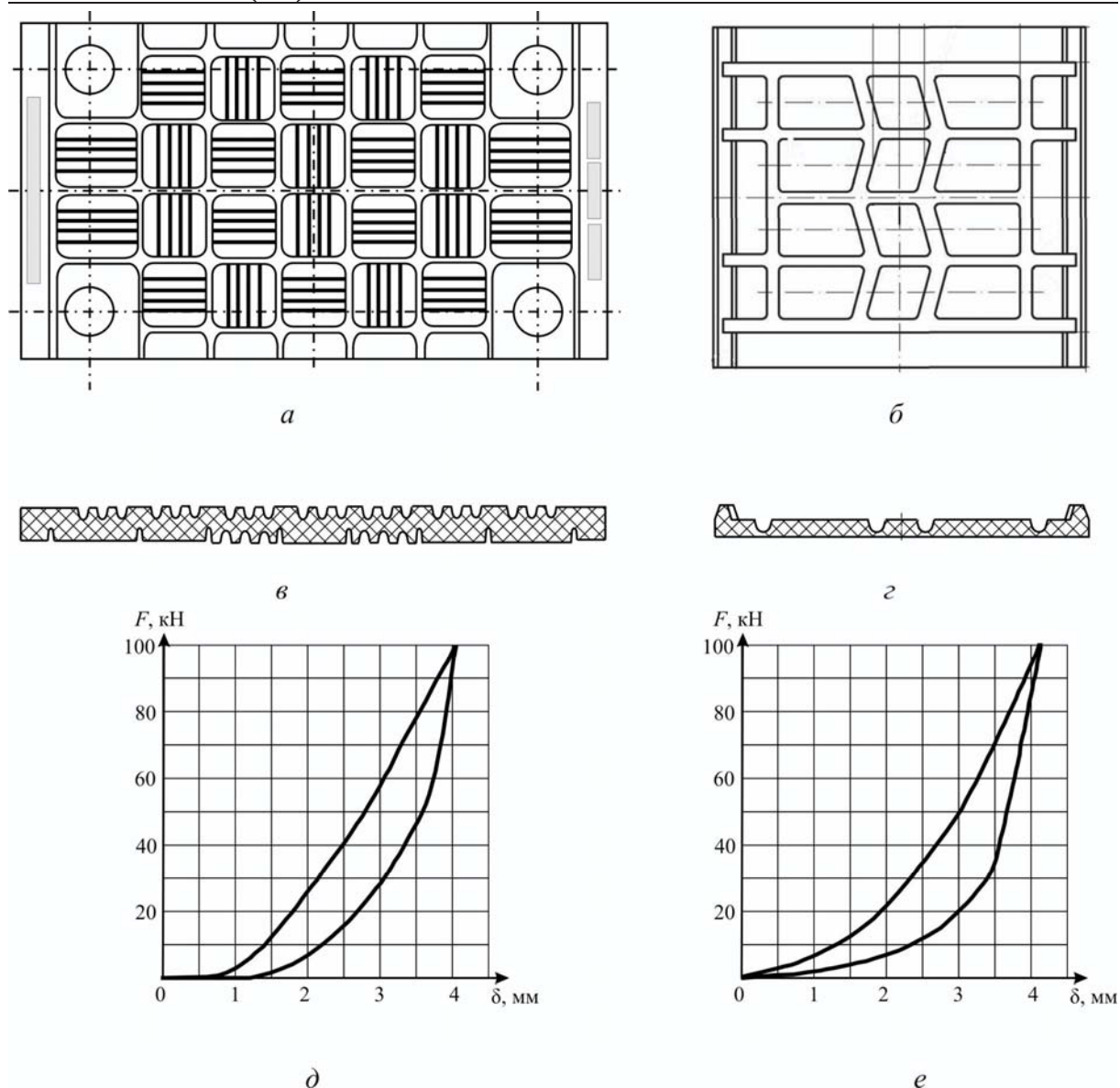


Рисунок 3 – Эластомерные прокладки с различной формой рифлей, изготовленные из резины:

*a* – нащпальная прокладка с квадратными рифлями вида (*в*);  
*б* – подрельсовая прокладка с протекторными рифлями вида (*г*); *д*,  
*е* – силовые характеристики процесса нагружения-разгружения прокладок с квадратными и протекторными рифлями соответственно

#### Определение напряженно-деформированного состояния эластомерных прокладок

Определение напряженно-деформированного состояния эластомерных прокладок железнодорожного, промышленного и подземного рельсового транспорта при создании новых конструкций базировалось



на методах последовательных приближений с изменением граничных условий [9], а также прогнозирования долговечности вязкоупругих элементов рельсового пути с учетом нагруженности, прочности, деформируемости и разрушения [3; 10; 11].

Данная задача имеет физическую нелинейность, так как в качестве материала прокладки использовались полиуретан или резина.

Кроме этого имеет место геометрическая нелинейность, вызванная следующими факторами: наличием рифлей и переменных геометрических параметров конструкции прокладок; изменение площади поверхности контакта прокладки с подошвой рельса и шпалы, а также деформируемостью прокладки от нагрузки.

Решение задачи осуществлялось с использованием метода конечных элементов (МКЭ), программного комплекса SCAD и метода последовательных приближений с изменением граничных условий [9].

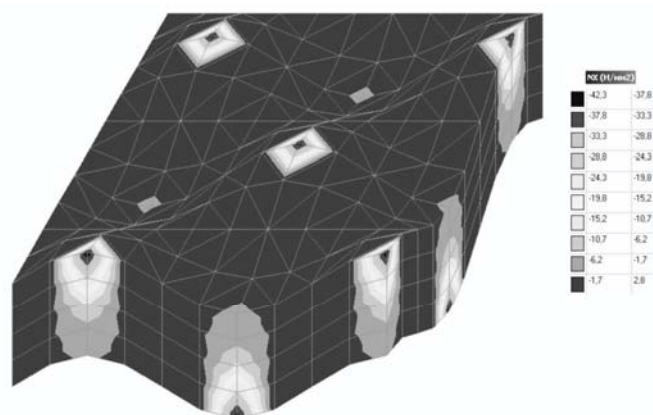
Для обеспечения высокой точности исследований при изменении указанных выше параметров и характеристик предусмотрено использование переменных граничных условий исследуемых эластомерных прокладок.

При решении задачи соблюдения граничных условий использовалась концепция метода сил.

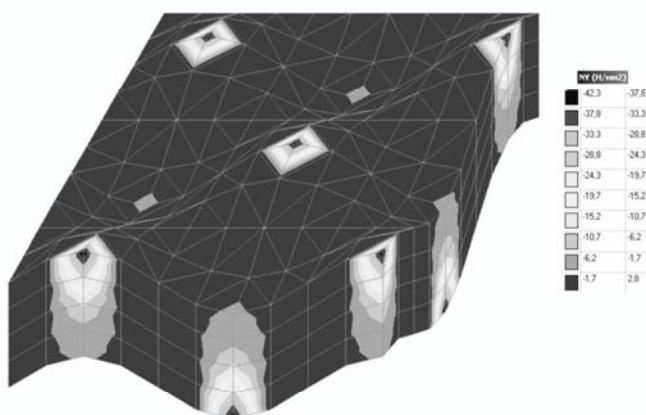
Нагружение исследуемых прокладок производилось поэтапно ввиду дискретности конечно-элементной модели и нелинейности жесткостной характеристики прокладок. На каждом этапе нагружения соблюдались условия удовлетворения граничных условий.

На рис. 4 *а, б, в* показаны поля распределения нормальных напряжений  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ , а на рис. 5, *а, б, в* показаны поля распределения касательных напряжений  $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$  для прокладки, представленной на рис. 2, *а*.

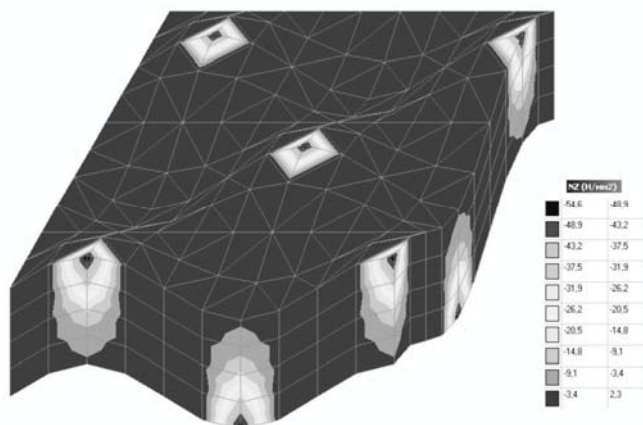
В табл. 1 приведены результаты квазистатического расчета прокладки, показанной на рис. 2, *а*, от действия вертикальных нагрузок  $F$  (кН). Где  $\sigma_p^{IV}$  – напряжения, полученные по IV (энергетической) теории прочности;  $E$  – расчетный модуль упругости прокладки;  $k$  – квазилинейная расчетная жесткость прокладки.



*a*



*б*



*в*

Рисунок 4 – Поля нормальных напряжений в средней части прокладки от действия сжимающей силы:

*a* – поля нормальных напряжений  $\sigma_x$  (МПа); *б* – поля нормальных напряжений  $\sigma_y$  (МПа); *в* – поля нормальных напряжений  $\sigma_z$  (МПа)



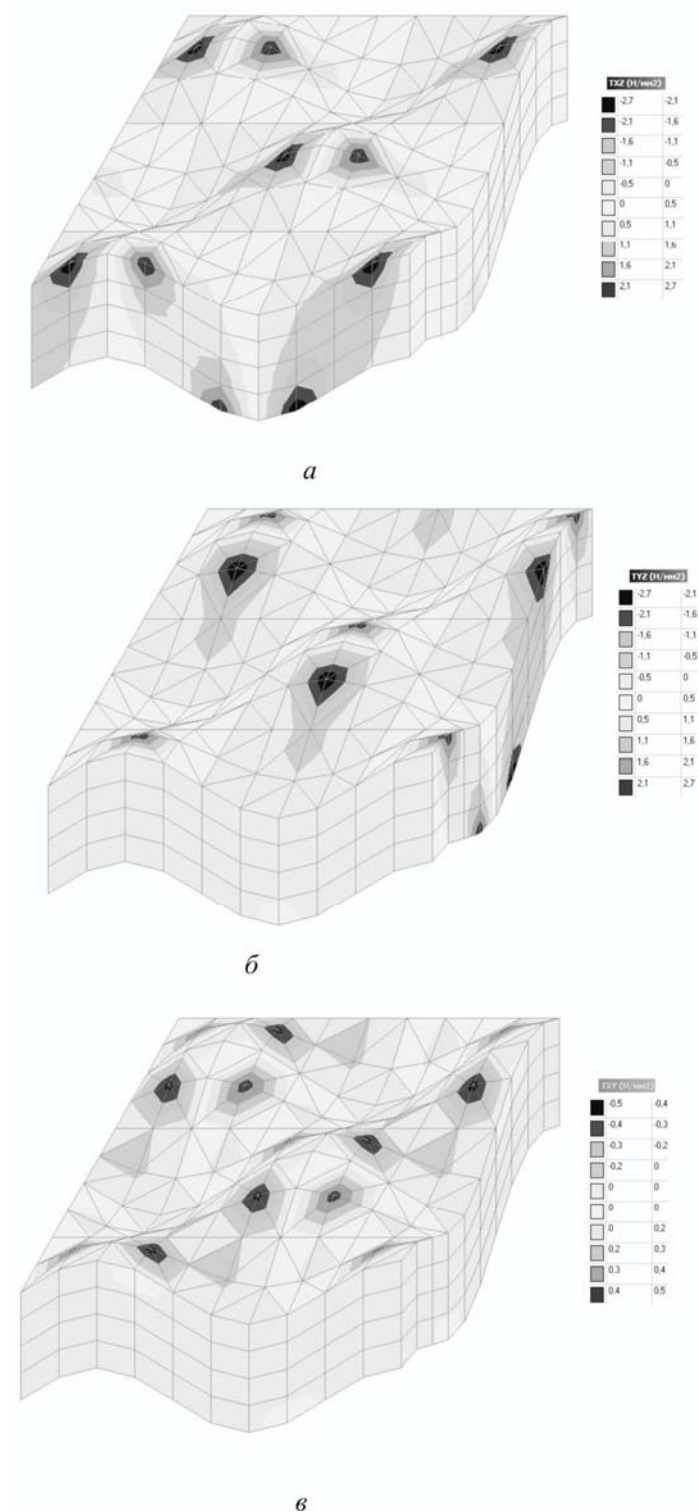


Рисунок 5 – Поля касательных напряжений в средней части прокладки от действия сжимающей силы:  
*a* – поля касательных напряжений  $\tau_{xz}$  (МПа); *б* – поля касательных напряжений  $\tau_{yz}$  (МПа); *в* – поля касательных напряжений  $\tau_{xy}$  (МПа)

Используя допустимые значения прочности и упругости под-  
рельсовых и нашпальных эластомерных прокладок по различным ра-  
бочим сечениям, с учетом рифлей и переменных геометрических раз-  
меров конструкции, создан ряд эластомерных прокладок для путевой  
структуры рельсового транспорта [3; 5-8].

Таблица 1

Результаты квазистатического расчета прокладки  
от действия вертикальных нагрузок

F, кН	$\Delta$ , мм	$\sigma_x \sigma_1$ , МПа	$\sigma_y$ ( $\sigma_2$ ), МПа	$\sigma_z$ ( $\sigma_3$ ), МПа	$\sigma_p^{IV}$ , МПа	$\tau_{xy}$ , МПа	$\tau_{xz}$ , МПа	$\tau_{yz}$ , МПа	E, МПа	k кН/мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15,73	1,023	-42,3	-42,3	-54,6	12,3	0,5	2,7	2,7	78,7	15,38
42,21	1,7972	-23,9	-23,9	-34,2	10,3	0,7	3,4	3,4	48,3	34,2
103,1	3,0463	-27,0	-27,0	-43,2	16,2	1,3	7,3	7,3	57,4	48,75
132,2	3,5993	-15,1	-15,2	-22,4	7,3	1,4	4,8	4,8	27,9	52,62
144,4	3,7895	-14,0	-14,0	-21,2	7,2	1,6	4,4	4,4	24,04	64,14
199,9	4,2224	-14,3	-14,3	-22,5	8,2	2,4	4,0	4,0	20,05	128,21

### Выводы

Рассмотрены методы исследований напряженно-  
деформированного состояния эластомерных прокладок промежуточ-  
ного скрепления рельсового пути.

Для исследования напряженно-деформированного состояния  
отдельных рифлей и прокладок в целом использованы модифициро-  
ванная конечно-элементная программа SCAD с применением метода  
конечных элементов (МКЭ) и метода последовательных приближений  
с изменением граничных условий при физической и геометрической  
нелинейности.

Стендовые исследования подтвердили работоспособность упру-  
гих эластомерных прокладок при циклическом «нагружении-  
разгрузении».

Предложенный метод определения характеристик эластомер-  
ных прокладок промежуточных рельсовых скреплений является пер-  
спективным для дальнейших исследований и применения в практи-  
ческом использовании при создании новых конструкций эластомер-  
ных прокладок путевой структуры рельсового транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение надежности работы верхнего строения пути в современных условиях эксплуатации: Сб. научн. 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: Изд-во СГУС, 2003. – 300 с.
3. Говоруха В.В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений / В.В. Говоруха: Моногр. – Днепропетровск: Лира, 2005. – 388 с.
4. Динамика и прочность шахтных транспортных сосудов / Е.Е. Новиков, Е.Ф. Земляной, В.В. Говоруха и др. – Киев: Наук. думка, 1983. – 152 с.
5. Деклараційний патент на винахід. Україна (UA) МКП<sup>7</sup> E01B9/54. Прокладка / В.В.Говоруха, М.Д. Костюк, Я.В. Дубневич. – № 49767А; Заявлено 13.06.2002. Опубл. 19.09. 2002, Бюл.»№ 9. – 3 с.
6. Патент на промисловий зразок Україна (UA) МКП 12-99. Прокладка під рейкова / В.В. Говоруха-№ 17119; Заявлено 12.05.2008; Опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15. - 6 с.:іл. 5.
7. Патент на промисловий зразок Україна (UA) МКП E01B 9/68. Прокладка нашпальна проміжного рейкового скріплення / В.В. Говоруха. -№ 74975; Заявлено 16.08.2004; Опубл. 15.02.2006, Бюл. № 2. - 6 с.:іл. 3.
8. Патент на промисловий зразок Україна (UA) МКП 12-99. Прокладка гумова для рейкової колії / В.В. Говоруха, М.Д. Костюк, Я.В. Дубневич - № 7173; Заявлено 27.12.2002; Опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3. - 1 с.:іл. 1.
9. Говоруха В.В. Метод определения рациональных параметров эластомерных подрельсовых прокладок для промежуточных рельсовых скреплений. Межвед. Сб. науч. трудов / Ин-т геотехн. механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 88. С. 219–234.
10. 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.
11. 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.

Получено 25.01.2011г.