

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ И ПРОЧНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИНОВЫХ ПРОКЛАДОК РЕЛЬСОВЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

В.В. Говоруха., Надутый В.П.  
Институт геотехнической механики  
НАН Украины

Работоспособность железнодорожного транспорта зависит от надежности работы всех его составных звеньев, включая железнодорожный путь, являющийся основой всего транспортного комплекса. Надежность работы рельсового пути определяется показателями всех его составляющих, включая рельсовые промежуточные скрепления, которые должны обеспечивать стабильность ширины колеи, предотвращать угон пути и интенсивный износ всех деталей скрепления и рельсошпальной решетки. Формирование накоплений остаточных деформаций в рельсовом пути и интенсивность износа элементов промежуточного скрепления зависит от величины вертикальных, поперечных и продольных сил действующих на детали, образующие эти узлы. Вместе с тем характеристики и конструктивные особенности элементов промежуточного скрепления также оказывают влияние на величины взаимодействующих нагрузок и текущее состояние пути.

Для снижения жесткости рельсового пути и стрелочных переводов на железобетонном основании, а также уменьшения величины динамических нагрузок, обеспечение стабильности ширины колеи и уменьшения угона пути находит широкое применение резина в качестве материала для нашпальных и подрельсовых прокладок промежуточного скрепления.

При этом анализ работоспособности применяемых в рельсовом пути резиновых прокладок показывает, что их срок

службы находится в пределах 3-12 месяцев вместо ожидаемых 2-4 лет. Под действием поездной циклической нагрузки и окружающей среды происходит интенсивный износ и разрушение резиновых прокладок, а также потери свойств упругости.

Для решения вопроса увеличения срока службы резиновых прокладок необходимо обосновать метод расчета их упругих характеристик, рецептуру и технологию изготовления.

В известных исследованиях [1-3] рекомендованы методы расчета деформационных показателей резиновых прокладок с учетом коэффициента формы  $k_0$ , представляющего собой отношение площади  $S_{on}$  одной опорной поверхности сжатия элемента к площади всей свободной боковой поверхности.

При этом в зоне малых деформаций (до 10%) напряжение определяется по пропорциональной зависимости относительной деформации.

$$\sigma = E_p \varepsilon, \quad (1)$$

$$\text{Известно, что } \sigma = \frac{Q}{S_0}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{h},$$

где  $Q$  - внешняя нагрузка на прокладку;  $S_{on}$  - площадь деформируемого изделия;  $\Delta h$ ,  $h$  - абсолютная деформация сжатия и толщина элемента;  $E_p$  - модуль сжатия резины.

При увеличении относительной деформации до 20-25% модуль упругости резины на сжатие принимает переменное значение и уравнение (1) представляется в виде

$$\sigma = E k_0 \varepsilon_u, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_u = \Delta h / (h - \Delta h)$  - истинная относительная деформация сжатия;  $k = f(k_0)$  - переменный коэффициент зависимый от формы резинового элемента.

Для обеспечения работоспособности прокладок рекомендуется соблюдение следующего условия

$$\sigma_{сж} = \frac{Q_{np}}{S_{от}} \leq [\sigma_{сж}], \quad (3)$$

где  $[\sigma_{сж}] = 0,35$  МПа при  $k_0 = 1$  и  $[\sigma_{сж}] = 0,7$  МПа при  $k_0 > 1$

Жесткость резиновой прокладки и определяется согласно известного выражения

$$J_{np} = \frac{Q_{np}}{\Delta h} = \frac{S_0 E_p}{h}, \quad (4)$$

При этом жесткость узла скрепления с включением нащпальной и подрельсовой прокладок определяются из зависимости [1-3]

$$\frac{1}{J_{сж}} = \frac{1}{J_{np1}} + \frac{1}{J_{np2}}, \quad (5)$$

где  $J_{np1}$ , и  $J_{np2}$  - соответственно жесткости подрельсовой и нащпальной прокладок.

При наличии дополнительного сжатия прокладок прикрепителями (по рекомендациям в работе [3] вертикальная жесткость прокладок ( $J_{np}$ ) суммируется с жесткостью упругих элементов прикрепителей ( $J_6$ ) и общую жесткость можно определить из выражения

$$J_{np}^{(0)} = J_{np} + n\mu^2 J_6, \quad (6)$$

где  $n$  - число прикрепителей, стягивающих прокладку;  
 $\mu$  -доля осевого усилия в прикрепителе, приходящаяся на прокладку.

Принимая во внимание соотношения  $\frac{J_6}{J_{np}} = \alpha$  и  $(1 + n\mu^2\alpha) = m$  установлена зависимость для определения приведенной жесткости прокладок [1-4]

$$\text{подрельсовых } \mathcal{K}_{np1}^{(0)} = m_1 \mathcal{K}_{np1}, \quad (7)$$

$$\text{нашпальных } \mathcal{K}_{np2}^{(0)} = m_2 \mathcal{K}_{np2} \quad (8)$$

Приведенная жесткость узла скрепления при наличии подрельсовой и нашпальной прокладки согласно выражений (5, 7, 8) определяется из зависимости

$$\mathcal{K}_{св} = \frac{m_1 m_2 \mathcal{K}_{np1} \mathcal{K}_{np2}}{m_1 \mathcal{K}_{np1} + m_2 \mathcal{K}_{np2}}, \quad (9)$$

При этом в расчетах [1-4] принимается  $n=2$ , для скреплений типа КБ, БП, ЖБР при наличии двух закладных или клеммных болтов. Доля осевого усилия в прикрепителях принимается  $\mu=0,5$  для скрепления типа КБ,  $\mu=0,45$  для скреплений типа БП и ЖБР, а для нашпальных прокладок при скреплении типа КБ  $\mu=1,0$ , при скреплениях типа ЖБР и БП  $\mu=0,55$

Как уже отмечалось резиновые нашпальные и подрельсовые накладки предназначены для обеспечения упругих деформаций при действии на рельс и шпалу динамических сил, а также для компенсации неровностей поверхностей шпалы и подошвы рельсов. Амортизирующие и демпфирующие свойства резиновых прокладок значительно снижают динамику рельсового пути и колесных пар подвижного состава. Целью исследований авторов было определение низкого срока службы резиновых прокладок на основании анализа их деформационных характеристик, поскольку характерной особенностью вышедших со строя накладок является высокая степень остаточной деформации, значительные трещины и разрывы.

Ранее установлено, что усилие, действующее от рельсов на резиновые прокладки, достигает 100 кН, а в отдельных случаях (например: стыковые соединения) оно достигает 200 кН, поэтому деформационные характеристики резиновых накладок исследовались в указанных пределах нагрузок. Мето-

дически исследования проводились на стандартном прессе, обеспечивающем требуемые нагрузки, в процессе определялись жесткостные характеристики прокладок. При этом устанавливался характер кривых нагружения, степень их нелинейности. Поскольку резиновая прокладка на прессе деформировалась по всей площади, то по полученным характеристикам сила – деформация для линейной и нелинейной зоны деформации определялись модули упругости материала каждой прокладки. Для экспериментов из каждой партии прокладок одной серии и марки резины отбирались 10 образцов, определялись их характеристики, выводились среднестатистические данные, которые в дальнейшем использовались для расчета напряженного состояния прокладки и установления коэффициента ее перегрузки по критерию допускаемых напряжений для резины. Анализ литературных источников, выполненный в работе [5] и исследования авторов этой работы показали, что допускаемые напряжения в резине при деформации сжатия не должны превышать 0,5 – 0,7 МПа. Исходя из этих ограничений, определялся коэффициент перегрузки прокладок в линейной зоне деформации  $K_{пл}$  и в нелинейной зоне  $K_{нл}$ . Результаты экспериментальных исследований деформационных характеристик  $P=f(\Delta)$  и расчетных данных по определению модуля резины  $E$  в линейной зоне деформации и модуля  $E_1$  для нелинейной зоны и соответствующие им напряжения в наспальных и подрельсовых накладках представлены в таблицах 1, 2. В таблицах приняты следующие обозначения:  $L, B, h$  (мм) – соответственно, длина, ширина и толщина прокладки;  $[\sigma]$  МПа – допускаемые напряжения в резине при деформации сжатия;  $P, H$  – максимальное сжимающее усилие, действующее на накладку при испытаниях;  $\Delta$ , мм – максимальная деформация накладки при действии усилия  $P$ ;  $E$ , МПа – модуль резины при сжатии, определяется в соответствии с зависимостями (1-3) как

Таблица 1. Результаты определения экспериментальных и расчетных параметров напряженного состояния напалых резиновых накладок

Номер накладки	Геометрические размеры			[ $\sigma$ ], МПа	Линейная зона деформации					Нелинейная зона деформации				
	L, мм	B, мм	h, мм		P, кН	$\Delta$ , мм	E, МПа	$\sigma$ , МПа	K <sub>ср</sub>	P, кН	$\Delta$ , мм	E <sub>1</sub> , МПа	$\sigma_1$ , МПа	K <sub>нм</sub>
1	345	140	10	0,5 - 0,7	36,0	2,0	3,8	0,74	1,2 - 1,48	200,0	5,0	8,3	4,20	6,0 - 8,4
6	345	140	10	0,5 - 0,7	40,0	2,0	4,2	0,83	1,2 - 1,86	200,0	3,7	11,2	3,36	4,8 - 6,7
7	345	140	10	0,5 - 0,7	48,0	2,0	5,0	1,00	1,4 - 2,00	100,0	3,0	6,9	1,38	1,95 - 2,7

Таблица 2. Результаты определения экспериментальных и расчетных параметров напряженного состояния напалых резиновых накладок

Номер накладки	Геометрические размеры			[ $\sigma$ ], МПа	Линейная зона деформации					Нелинейная зона деформации				
	L, мм	B, мм	h, мм		P, кН	$\Delta$ , мм	E, МПа	$\sigma$ , МПа	K <sub>ср</sub>	P, кН	$\Delta$ , мм	E <sub>1</sub> , МПа	$\sigma_1$ , МПа	K <sub>нм</sub>
1 СБ-3	166	132	10	0,5 - 0,7	35,0	2,0	3,00	1,60	2,28 - 3,2	100,0	3,3	13,8	4,14	5,9 - 8,3
6 СБ-3	166	132	10	0,5 - 0,7	40,0	2,0	14,0	1,8	2,55 - 3,6	200,0	3,8	24,0	7,20	10,2 - 14,0
7 Серийная	150	132	7,5	0,5 - 0,7	62,0	2,0	11,0	2,95	4,2 - 5,9	200,0	3,0	25,0	10,1	14,2 - 20,2

$E = \frac{Ph}{\Delta \cdot F}$ ;  $\sigma$ , МПа – расчетные значения напряжений в прокладке при воздействии усилия  $P$ ;  $K_{пл}$ ,  $K_{нн}$  – коэффициент перегрузки прокладки, соответственно в линейной и нелинейной зоне деформирования, определяемый из соотношения  $k = \frac{\sigma}{[\sigma]}$

Анализ результатов исследований показал, что существующие конструкции накладок даже в линейной зоне деформации притерпевают перегрузки в 2-5 раз, в экстремальных случаях (в нелинейной зоне деформации) перегрузки составляют от 5 до 20 раз, чем и объясняется низкий срок службы прокладок и острая необходимость создания работоспособных конструкций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шахуняц Г.М., Демидов А.А. Некоторые вопросы исследования работы резиновых прокладок повышенной упругости для пути с железобетонными шпалами //Тр. МИИТ.- 1971.- Вып. 354.- с. 3-76
2. Карпущенко Н.И. Надежность связей рельсов с основанием. –М: Транспорт, 1986.-150с.
3. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. –М.: Транспорт, 1969. -536 с.
4. Петров Н.В. , Купцов В.В. , Лозовская И.И. Совершенствование существующих и разработка новых конструкций промежуточных рельсовых скреплений для железобетонных шпал //Тр. ВНИИЖТ.-1979.- вып. 616.- с. 10-39
5. Потураев В.И. , Дырда В.И. , Надутый В.П. Резина в горном деле –М: “Недра”, 1974.-152с.