

## Список литературы

- 1 Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология / В. Д. Ломтадзе. – Л. : Недра, 1984. – 511 с.
- 2 Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова. – М. : Изд-во Московского университета, 2005. – 1023 с.
- 3 Зянги́ров, Р. С. К вопросу об определении модуля деформации грунтов / Р. С. Зянги́ров // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве Российской Федерации : материалы девятой общерос. конф. изыскательских организаций. – М. : ООО «Геомаркетинг». 2013. – С. 17–23.
- 4 Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Т. 1. Полевые методы. – М. : Недра, 1984. – 422 с.

УДК 539.3:534.1

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАБИН ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛОКОМОТИВОВ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ С ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ

*С. В. УГРИМОВ, Н. В. СМЕТАНКИНА, А. Н. ШУПИКОВ*

*Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков*

Железнодорожный транспорт является одним из наиболее безопасных видов транспорта. Однако наблюдающаяся общемировая тенденция возрастания скорости перевозок выдвигает более жесткие требования к безопасности эксплуатации железнодорожного транспорта. Это комплексная проблема, которая требует решения многих задач. Обеспечение механической прочности конструкций при лобовых столкновениях с различными предметами является одной из таких важных задач. Наиболее опасным является удар твердым телом по лобовому остеклению кабин поездов. Кроме этого, представляет существенную опасность удар по лобовой обшивке кабин локомотивов, которые изготавливаются как из металла, так и из композитных материалов.

При эксплуатации железнодорожных транспортных средств на территории Украины и в странах СНГ часто наблюдаются деструкции лобового остекления. Большинство аварий возникает в результате удара предметами (камень, бутылка и т. д.), которые выпали или были выброшены из встречных поездов. Существуют также случаи столкновения с птицами. В связи с важностью этой задачи предусматриваются особые требования к механической прочности остекления и обшивки кабины локомотива к удару. Согласно требованиям Украины и стран СНГ, элементы конструкций кабин должны выдерживать удар (не допускать проникания) твердого тела массой 600 г на удвоенной скорости электровоза или тепловоза. Согласно стандартам Американской Федеральной Администрации (FAA), остекление поездов со скоростью движения выше 200 км/ч должно выдерживать удар стальным шаром массой 5,44 кг на максимальной скорости поезда, а для поездов со скоростью до 200 км/ч – удар угольным блоком массой 10,9 кг на скорости 48,3 км/ч и удар пули 22 калибра на скорости около 300 м/с. Аналогичные требования существуют и в других странах. Это свидетельствует о важности и актуальности этой задачи для железнодорожного транспорта. Именно этой проблеме и посвящена предлагаемая работа.

Проведено теоретическое и экспериментальное исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) остекления и композитной обшивки при ударе твердым телом. Для расчета использовалась оригинальная методика [1, 2]. Экспериментальное исследование образцов проводилось на специальном стенде ИПМаш НАН Украины. Метание твердых тел осуществлялось посредством пневматической пушки. Для оценки деформаций конструкций при ударе применялся метод широкополосного динамического тензометрирования.

Остекление и композитная обшивка представляет собой многослойные конструкции, механические характеристики слоев которых могут отличаться на несколько порядков. При этом сама область взаимодействия конструкции с ударяющими телами зачастую невелика и заранее неизвестна. Это выдвигает особые требования к применяемым моделям конструкции и к методам решения контактной задачи.

Предлагается для моделирования поведения остекления и композитной обшивки использовать гипотезы обобщенной теории многослойных конструкций [1, 3], которая относится к дискретно-структурным моделям и позволяет выбирать необходимую точность описания НДС в зависимости от композиции пакета слоев и условий нагружения. В основе модели лежат кинематические

гипотезы, основанные на методе степенных рядов. В общем случае перемещения точки  $i$ -го слоя описываются следующими кинематическими зависимостями:

$$u_{\alpha}^i(x_1, x_2, x_3, t) = u_{\alpha} + \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{k=1}^{K_{\alpha}^j} h_j^k u_{\alpha k}^j + \sum_{k=1}^{K_{\alpha}^i} (x_3 - \delta_{i-1})^k u_{\alpha k}^i ;$$

$$h_j^k = (h_j)^k, \quad \delta_i = \sum_{j=1}^i h_j, \quad \delta_{i-1} \leq x_3 \leq \delta_i, \quad i = \overline{1, I},$$

где  $h_j$  – толщина  $j$ -го слоя;  $u_{\alpha}^i$  ( $\alpha = \overline{1, 3}$ ) – перемещения точки  $i$ -го слоя в направлении оси  $Ox_{\alpha}$ ;  $u_{\alpha}, u_{\alpha k}^i$  – коэффициенты разложений перемещений в степенные ряды, которые являются функциями аргументов  $x_1, x_2, t$ ;  $K_{\alpha}^i$  – максимальные степени поперечной координаты для плоскостных ( $\alpha = 1, 2$ ) и поперечных ( $\alpha = 3$ ) перемещений точек  $i$ -го слоя, которые выбираются в зависимости от необходимой точности.

Изменяя количество удерживаемых членов в рядах, можно получить разные по точности двумерные аппроксимации НДС. Частным случаем этой модели многослойной среды являются гипотезы теории Э. И. Григолюка, П. П. Чулкова, а также гипотезы уточненной теории первого порядка, учитывающей обжатие каждого слоя.

Уравнения движения и граничные условия получены с помощью вариационного принципа. Эти уравнения дополняются уравнением движения индентора и условием совместности деформаций. Контактное смятие учитывается по Герцу. Для решения уравнений используются аналитико-численные методы.

Проведено численное исследование НДС остекления и композитной обшивки при ударе твердым телом. Результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными, что подтверждает работоспособность предложенной методики.

Разработанный метод может быть полезен при оценке прочности многослойных элементов конструкций железнодорожных транспортных средств при лобовых столкновениях с различными твердыми телами и позволяет подобрать рациональные их композиции, а также существенно сократить количество стеновых испытаний.

#### Список литературы

- 1 Нестационарные колебания многослойных пластин и оболочек и их оптимизация / А. Н. Шупиков [и др.] – Харьков : Изд-во Харьковского нац. экономического ун-та, 2004. – 252 с.
- 2 **Сметанкина, Н. В.** Нестационарное деформирование, термоупругость и оптимизация многослойных пластин и цилиндрических оболочек. – Харьков : Мисьдрук, 2011. – 376 с.
- 3 **Ugrimov, S. V.** Layered orthotropic plates. Generalized theory / S. V Ugrimov, A. N. Shupikov // Composite structures. – 2015. – Vol. 129, is. 1. – P. 224–235.

УДК 539.3

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ

*Д. А. ЧЕРНОУС*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

**Введение.** Нанопористые покрытия на основе анодированного оксида алюминия (АОА) широко используются в настоящее время для изготовления сенсоров микро электромеханических систем, а также в качестве матричных носителей различных наноструктурированных функциональных наполнителей. При импрегнировании подобных покрытий антифрикционным полимером образуется металлополимерная система, состоящая из подложки и связанного с ней композитного слоя. Материал данного слоя является одноосно-волоконно-армированным композитом, в котором сплошные полимерные волокна ориентированы перпендикулярно поверхности покрытия. Известен ряд научных публикаций, посвященных расчетно-теоретическому определению