

подножек и др.). Кроме самих испытаний приходится решать вопросы по утилизации испытуемых образцов кресел, так как в результате испытаний кресла приходят в состояние, в котором их эксплуатация невозможна.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 33330–2015. Кресло машиниста (оператора) железнодорожного подвижного состава. Технические условия. – Введ. 2016-01-03. – М. : Стандартинформ, 2016. – 19 с.
- 2 ГОСТ Р 54962–2012. Кресло машиниста (оператора) железнодорожного подвижного состава. Технические условия. – Введ. 2012–29–08. – М. : Стандартинформ, 2013. – 19 с.
- 3 ГОСТ 34013–2016. Кресло пассажирское моторвагонного подвижного состава и пассажирских вагонов локомотивной тяги. Общие технические условия – Введ. 2018–01–02. – М. : Стандартинформ, 2017. – 27 с.
- 4 ГОСТ Р 55995–2014. Кресло пассажирское моторвагонного подвижного состава и пассажирских вагонов локомотивной тяги. Общие технические условия – Введ. 2015–01–01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 21 с.

УДК 656.13

## ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОУДАРЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ, ЗАГРУЖЕННОЙ ТРУБАМИ, С ГРУППОЙ НЕПОДВИЖНЫХ ВАГОНОВ

*И. А. ВОРОЖУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Трубы большого диаметра находят применение при строительстве магистральных нефтепроводов и газопроводов, а также водопроводов, тепловых сетей, канализационных сооружений. Особенностью таких труб является то, что они при больших габаритах обладают относительно небольшой массой, из-за чего грузоподъемность транспортных средств при перевозке труб большого диаметра используется не в полной мере. Поэтому важной задачей является разработка подходов, позволяющих обеспечить транспортировку труб при максимально возможной загрузке ими вагона. Размещение и крепление труб на подвижном составе должно выполняться в точном соответствии с требованиями, изложенными в нормативных документах, которые предусматривают размещение и крепление в полувагоне 6 труб диаметром 1020 мм, 5 труб диаметром 1220 мм, 4 труб диаметром 1420 мм. В то же время габарит погрузки позволяет разместить на железнодорожной платформе, соответственно, 9, 6 и 5 труб указанных диаметров. Жесткие крепления обладают большой массой и весьма дороги, поэтому экономически не эффективны. В связи с этим осуществляется разработка облегченных средств крепления груза. Однако при этом следует учитывать возможность смещения груза в вагонах при их соударении, поэтому помимо обеспечения сохранности груза повышенное внимание следует уделять и безопасности движения. Это требует анализа взаимодействия в системе «поезд – транспортируемый груз».

Наиболее неблагоприятные воздействия платформа, трубы и элементы их крепления испытывают при соударениях вагонов во время проведения маневровых работ, особенно при роспуске с сортировочных горок. Математическое моделирование процесса соударения платформы, загруженной  $k$  ярусами труб, с группой из  $n$  неподвижных вагонов отражено в работе [1]. Особенностью рассматриваемой расчетной схемы является особая форма учета сил кулонова трения, максимальное значение которых достигается только при положительной разности между скоростями контактирующих элементов системы, расположенных выше и ниже соответственно, а также сил в упругих элементах крепления с линейными характеристиками. Система дифференциальных уравнений, отражающих движение  $k$  ярусов груза, платформы и  $n$  вагонов стенки составлена с применением способа Даламбера.

Представленная работа посвящена установлению корректности математической модели механической системы «ярусы труб – устройство крепления – платформа – вагоны» при упругом креплении ярусов труб к платформе. Адекватность и корректность разработанной математической модели устанавливалась путем сопоставления результатов расчета с результатами, приведенными в литературных источниках, а также полученными при натуральных испытаниях на соударение платформы, загруженной четырьмя трубами в два яруса, с группой из пяти вагонов стенки ( $m_{в1} = m_{в2} = 80000$  кг;  $m_{в3} = 78000$  кг;  $m_{в4} = 57000$  кг;  $m_{в5} = 78000$  кг). Расчеты проведены в среде MathCAD.

Полученные результаты расчетов по предлагаемой модели соударения одиночного вагона с одним или двумя вагонами стенки для жесткого крепления грузов в вагонах при варьировании масс как набегающего вагона, так и неподвижных вагонов стенки вполне адекватны данным, приведенным в [2, с. 305].

В ходе исследования процесса соударения одиночной груженой платформы массой 48300 кг (масса груза 27300 кг) с разным количеством вагонов стенки (масса одного вагона стенки 84000 кг) оценивалось влияние жесткости упругих элементов продольного крепления груза и коэффициента трения между соприкасающимися поверхностями груза и платформы на величину сил в междувагонных связях и замедление платформы. Установлено, что при соударении первый вагон стенки и набегающий вагон испытывают наибольшие продольные силы, величина которых практически не зависит от количества вагонов стенки. Результаты расчетов показывают, что для скорости соударения 5 км/ч платформы с вагонами стенки (при коэффициенте жесткости 2 МН/м упругих элементов продольного крепления груза и коэффициенте трения 0,35 между соприкасающимися поверхностями груза и платформы), наибольшее значение силы в междувагонной связи платформы и первого вагона стенки на 0,1953 МН (19,2 %) меньше чем для жесткого способа крепления груза. При этом максимальное значение замедления платформы в 1,58 раза больше.

В таблице 1 приведены значения величин остаточного смещения труб нижнего яруса относительно платформы, полученные в ходе расчетов и при натурных испытаниях на соударение платформы, загруженной четырьмя трубами в два яруса, полагая, что  $m_{r1} = 10$  кг,  $m_{r2} = 13600$  кг,  $m_{r3} = 13700$  кг,  $c_{r1} = 2$  МН/м,  $c_{r2} = c_{r3} = 1$  МН/м,  $f_{r1} = 0,37$ . Расчеты проводились для разных величин предварительного натяжения упругих элементов крепления труб ( $\lambda_i$ ).

Таблица 1 – Остаточное смещение труб после соударения платформы с вагонами стенки

Номер соударения	Скорость набегающего вагона, км/ч	Эксперимент	Расчетное	
		Не определялось	Предварительное натяжение канатов	
			$\lambda_2 = \lambda_3 = 0,002$	$\lambda_1 = 0,1$ м
			$\lambda_2 = \lambda_3 = 0,003$ м	
		35	39	38
2	5,5	45	42	41
3	6	45	48	45
4	6	45	53	45
5	6,5	45	49	46
6	7	50	48	47

При проведении натурных испытаний определение скорости соударения проводилось посредством ручного секундомера и переводной таблицы. Наличие ослабления или предварительного натяжения канатов крепления труб к платформе на момент первого соударения не устанавливалось. Величина продольных перемещений труб после каждого соударения замерялась рулеткой от меловых рисок на трубах нижнего яруса до опоры, установленной на раме платформы, с точностью до 5 мм.

Анализ полученных результатов позволяет сделать заключение, что величина остаточного смещения труб после каждого соударения вагонов зависит не только от скорости соударения, но и от предварительного натяжения (ослабления) упругих элементов крепления труб к платформе, а также сил сухого трения между ярусами груза.

Смещение труб в направлении удара сопровождается соответствующим натяжением канатов продольного крепления в этом же направлении и ослаблением натяжения канатов противоположного направления.

В ходе исследований установлено, что при соударении первый вагон стенки и набегающий вагон испытывают наибольшие продольные силы, величина которых практически не зависит от количества вагонов стенки. При проведении испытаний вагонов на соударение рекомендуется использовать в стенке не менее трех-четырех вагонов. С целью сокращения машинного времени при проведении расчетов на соударение вагонов, можно ограничиться тремя вагонами стенки.

#### Список литературы

- 1 **Varazhun, I.** Modeling of the interaction between cargo tiers and flatcar during the collision of cars / I. Varazhun, A. Zavarotny // Technolog. – 2013. – Roc. 5. – № 4. – P. 195–198.
- 2 **Вершинский, С. В.** Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов ; под ред. С. В. Вершинского. – М. : Транспорт, 1991. – 360 с.