

Для комплексной оценки сортировочных горок в ДИИТе разрабатывается имитационная модель, которая позволяет имитировать все элементы горочного технологического цикла вместе с процессом накопления вагонов в сортировочном парке. Общая модель горки учитывает случайный характер нового удельного сопротивления движению вагона, сопротивления стрелок и кривых, окружающей среды и ветра, а также неточность реализации заданных скоростей выхода из тормозных позиций.

Модель горки включает модели путевого развития, технологического процесса, передвижения объектов, системы управления стрелками и замедлителями и информационную. Одной из задач, решаемых с помощью разработанной модели, является оценка системы управления прицельным регулированием скорости отцепов на парковых тормозных позициях (ППП). При отсутствии на сортировочной горке устройств для уточнения характеристик отцепов нормативная скорость подхода одного вагона к другому на сортировочных путях достигается за счет нормирования скорости выхода вагона с ППП в соответствии с его весовой категорией и расстоянием до точки прицеливания. Выполненные при помощи разработанного программного комплекса исследования показали, что обеспечение нормативных скоростей соударения вагонов при отсутствии системы уточнения ходовых параметров отцепа приводит к значительному ухудшению показателей заполнения сортировочных путей. В практических условиях нормативная скорость соударения вагонов не обеспечивается и с вероятностью 60 % превышает норматив, что недопустимо с точки зрения безопасности. Разработанный программный комплекс использован также для оценки влияния конструктивных особенностей горки и сортировочного парка на условия прицельного регулирования скорости и оценки эффективности методов уточнения информации о ходовых свойствах отцепов и условиях скатывания (взвешивание, определение ускорения движения на участках, измерение скорости ветра и др.).

Кроме того, в процессе моделирования фиксируются затраты на маневровую работу, которая связана с расформированием составов, осаживанием вагонов на сортировочных путях, и «ликвидацию» запусков, а также затраты электроэнергии на перевод стрелок и замедлителей. Учитывая, что эти показатели имеют соизмеримую экономическую оценку, то наличие данной модели позволяет сравнивать варианты конструкции сортировочных горок и организации их работы, а также решать различные оптимизационные задачи, направленные на повышение эффективности и безопасности сортировочного процесса.

УДК 656.212.6.073.21

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖЁСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕПЛЕНИЙ ГРУЗА ПРИ СДВИГЕ ГРУЗА В ПЛОСКОСТИ ПОЛА ВАГОНА

*Е. Н. ТИМУХИНА, В. А. ОЛЕНЦЕВИЧ*

*Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),  
г. Екатеринбург, Российская Федерация*

Анализ литературных источников [1–9] показывает, что до сих пор отсутствуют какие-либо числовые данные о жёсткостных характеристиках гибких упругих элементов креплений груза при сдвиге груза в плоскости пола вагона от воздействия пространственной системы сил. Получено, что эквивалентная жёсткость гибких элементов креплений по направлению действия пространственной силы, кН/м:

$$c_{\text{экв}}^F = E \sum_{i=1}^{n_0} \frac{A_i}{l_i} \sqrt{\left( (f \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \cos \beta_{0i}) \cos \lambda^{(i)} \right)^2 + \left( (f \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \sin \beta_{0i}) \sin \lambda^{(i)} \right)^2} \cdot (\cos \alpha_i \cos \beta_{0i} \cos \lambda^{(i)} + \cos \alpha_i \sin \beta_{0i} \sin \lambda^{(i)}) \quad (1)$$

где  $E_i$ ,  $A_i$  и  $l_i$  – модуль упругости (кН/м<sup>2</sup>), площадь поперечного сечения (м<sup>2</sup>) и длина элементов крепления груза (м);  $f$  – коэффициент трения между поверхностями пола вагона и груз,  $\alpha_i$  и  $\beta_{0i}$  – углы, характеризующие геометрию креплений груза, рад.;  $\lambda_i$  – угол, показывающий направление действия пространственной системы сил, рад.

Покажем представление (1) для реализации в вычислительной среде MathCAD.



В развёрнутом виде эквивалентная жёсткость, например, для двух пар гибких элементов креплений  $c_{\text{экр}}^F$  по направлению действия пространственной силы имеет вид

$$c_{\text{экр}1} := 7.854 \cdot \left[ d1^2 \cdot \sqrt{\left[ \frac{n1}{l1} \cdot \left( f \cdot \frac{h1}{l1} + \frac{a1}{l1} \right) \cdot \text{cs}(\lambda) \right]^2 \dots \left( \frac{a1}{l1} \cdot \text{cs}(\lambda) + \frac{b1}{l1} \cdot \text{sn}(\lambda) \right) \dots} + \sqrt{\left[ \frac{n1}{l1} \cdot \left( f \cdot \frac{h1}{l1} + \frac{b1}{l1} \right) \cdot \text{sn}(\lambda) \right]^2} \right. \\ + d1a^2 \cdot \sqrt{\left[ \frac{n1a}{l1a} \cdot \left( f \cdot \frac{h1a}{l1a} + \frac{a1a}{l1a} \right) \cdot \text{cs}(\lambda) \right]^2 \dots \left( \frac{a1a}{l1a} \cdot \text{cs}(\lambda) \right) \dots} \\ + d2^2 \cdot \sqrt{\left[ \frac{n2}{l2} \cdot \left( f \cdot \frac{h2}{l2} + \frac{a2}{l2} \right) \cdot \text{cs}(\lambda) \right]^2 \dots \left( \frac{a2}{l2} \cdot \text{cs}(\lambda) + \frac{b2}{l2} \cdot \text{sn}(\lambda) \right) \dots} \\ + \sqrt{\left[ \frac{n2}{l2} \cdot \left( f \cdot \frac{h2}{l2} + \frac{b2}{l2} \right) \cdot \text{sn}(\lambda) \right]^2} \\ \left. + d2a^2 \cdot \sqrt{\left[ \frac{n2a}{l2a} \cdot \left( f \cdot \frac{h2a}{l2a} + \frac{a2a}{l2a} \right) \cdot \text{cs}(\lambda) \right]^2 \dots \left( \frac{a2a}{l2a} \cdot \text{cs}(\lambda) \right)} \right]$$

Для конкретного груза, геометрия креплений которого представлена в [9, 10], проведены вычислительные эксперименты, результаты которых приведены ниже.

Результаты регрессионного анализа эквивалентной жёсткости креплений в зависимости от варьируемых значений угла наклона  $\lambda$ , результирующей силы  $\Delta F$  относительно продольной оси вагона  $x$  по полученным табличным данным обработаны с использованием вычислительной среды MathCAD. При подобранном значении степени полинома  $k = 3$  характер совпадения экспериментальных данных и полиномиальной функции обеспечивается при коэффициенте регрессии, равном 0.99999, что практически равно 1.

Полученные значения коэффициентов уравнения регрессии *coeffs*, имеющих размерности кН; кН/м; кН/м<sup>2</sup>, и собственно полиномиальное уравнение регрессии, описывающее эквивалентные жёсткости в гибких элементах креплений, (кН/м), в зависимости от варьируемых значений угла наклона результирующей силы относительно продольной оси вагона  $\lambda$ , в пределах от 10 до 88 м с шагом  $\Delta\lambda = 2$  град. имеют следующий вид:

$$\lambda := 10, 12 \dots 88 ; coeffs_0 = 2.246 \times 10^3 \quad coeffs_1 = 16.91 ;$$

$$coeffs_2 = -0.569 \quad coeffs_3 = 2.98 \times 10^{-3} ;$$

$$c_{\text{экр}}(\lambda) := coeffs_0 + coeffs_1 \cdot \lambda + coeffs_2 \cdot \lambda^2 + coeffs_3 \cdot \lambda^3$$

На основе полученных данных построена графическая зависимость  $c_{\text{экр}} = f(\lambda)$ , которая представлена на рисунке 1.

По полученным табличным данным построены графические зависимости эквивалентной жёсткости креплений  $c_{\text{экр}}$ , кН/м, от варьируемых значений коэффициента продольной динамики вагона  $k_{\text{дх}}$  (рисунок 2).

**Анализ полученных результатов исследований.** Анализ графической зависимости  $c_{\text{экр}} = f(\lambda)$  позволяет отметить, что на значения коэффициента эквивалентной жёсткости креплений  $c_{\text{экр}}$ , кроме физико-геометрических параметров креплений ( $E, n, d, a, b, h, l$ ) существенное влияние оказывает угол наклона  $\lambda$  результирующей силы  $\Delta F^{(i)}$  относительно продольной оси вагона  $x$ , причём с увеличением этого угла эквивалентные жёсткости креплений уменьшаются по нелинейному закону, которые, в свою очередь, оказывают влияние на сдвиг груза относительно пола вагона и на натяжения в креплениях. Кроме того, анализ полученной графической зависимости позволяет отметить, что с увеличением коэффициента продольной динамики вагона  $k_{\text{дх}}$  значения эквивалентной жёсткости креплений  $c_{\text{экр}}$  увеличиваются по нелинейному закону.



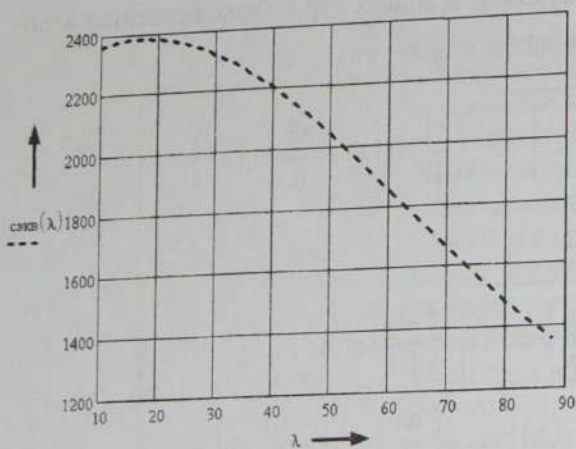


Рисунок 1 – Графические зависимости  $c_{экв} = f(\lambda)$

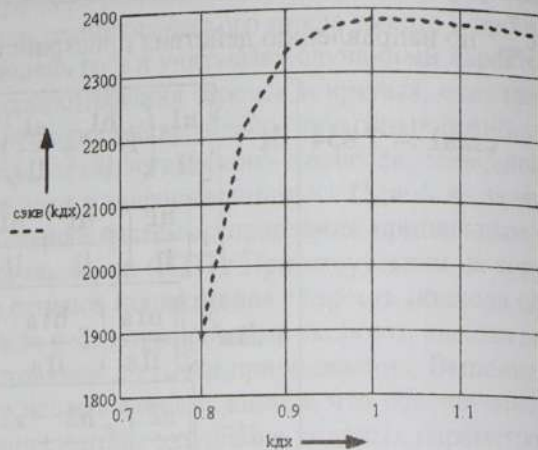


Рисунок 2 – Графические зависимости  $c_{экв} = f(k_{дх})$

**Заключение.** На основе результатов проведённых вычислительных экспериментов установлено, что с увеличением угла наклона результирующей силы относительно продольной оси вагона и продольной динамики вагона значение эквивалентной жёсткости креплений увеличивается по нелинейному закону.

**Практическое приложение результатов.** Результаты исследований могут быть использованы при разработке нормативных документов для грузов, непредусмотренных в ТУ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Туранов, Х. Т. Моделирование натяжений в гибких элементах креплений негабаритного груза при движении поезда по кривому участку пути / Х. Т. Туранов, С. А. Ситников, А. Л. Рыков // Наука и техника транспорта. – 2007. – № 1. – С. 19–24.
- 2 Туранов, Х. Т. Нагрузочные способности гибких упругих элементов креплений при размещении груза со смещением центра масс вдоль вагона / Х. Т. Туранов, Е. Н. Тимухина, Д. В. Волков // Транспорт Урала. – 2007. – № 4. – С. 25–35.
- 3 Туранов, Х. Т. Аналитическое обоснование технологии креплений при несимметричном размещении общего центра масс грузов в вагонах. / Х. Т. Туранов, Е. Н. Тимухина, Е. Б. Даусеитов // Транспорт: Наука, техника и управление. – 2009. – № 7. – С. 28–32.
- 4 Туранов, Х. Т. Взаимодействие открытого подвижного состава и твёрдотельного груза. – М: Пиар-Пресс. 2010. – 448 с.
- 5 Turanov, Khabibulla, Timukhina. Analytical modeling cargoes displacement in wagon and tension in fastening / Turanov, Khabibulla, Timukhina // Transport Problems International Scientific Journal. Silesian University of Technology Politechnica Slaska. – Poland, 2008. – Т. 3, – № 3. – Р. 69–76.
- 6 Туранов, Х. Т. Теоретическая механика в задачах грузовых перевозок : [монография] / Х. Т. Туранов. – Новосибирск : Наука, 2009. – 376 с.
- 7 Туранов, Х. Т. Моделирование технологии креплений груза в вагоне при воздействии пространственной системы сил / Х. Т. Туранов, В. А. Оленцевич // Транспорт Урала. – 2010. – № 2. – С. 35–38.
- 8 Оленцевич, В. А. Разработка методики по обоснованию технологии креплений в вагоне груза при воздействии пространственной системы сил / В. А. Оленцевич // Транспорт: Наука, техника и управление. – 2010. – № 9. – С. 28–32.
- 9 Тимухина, Е. Н. Результаты расчётов эквивалентной жёсткости гибких упругих элементов креплений груза при воздействии пространственных систем сил / Е. Н. Тимухина, В. А. Оленцевич // Труды Одиннадцатой науч.-практ. конф. «Безопасность движения поездов». – М. : МИИТ, 2010.
- 10 Власова, Н. В. Анализ нагруженности и выбор параметров элементов крепления грузов на открытом железнодорожном подвижном составе. / Н. В. Власова. – Екатеринбург : УрГУПС, 2005. – 24 с.

УДК 656.1

## ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ ИНОСТРАННЫХ ГОСУДАРСТВ

А. В. ТОКАРЕВСКИЙ, Ю. Н. ОКУНЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Результаты исследований организации транспортного обеспечения войск в современных войнах и вооруженных конфликтах позволяют сделать вывод о том, что в вооруженных силах зарубежных государств воинские транспортные формирования немногочисленны. Во-первых, потому, что военны-