

УДК 629.463.3:004.94

С. А. ПЕТРАЧКОВ, аспирант, М. Г. ГЕГЕДЕШ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕВОЗКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ НА СЦЕПЕ ИЗ ДВУХ ПЛАТФОРМ

Приведены результаты компьютерного моделирования транспортировки рельсов на сцепе из двух платформ, определены параметры относительного смещения перевозимого груза, на основании которых выработаны рекомендации по размещению костылей в деревянных подкладках с целью предотвращения динамических ударов рельсов о костыли.

На железной дороге имеется необходимость перевозки рельсов и других длинномерных грузов на сцепе, состоящем из двух вагонов (рисунок 1). Такие грузы крепятся при помощи растяжек, обвязок, подкладок, упорных и распорных брусков [1–3].

Часто после отправки такого груза происходит разрушение деревянных деталей креплений и расслабление проволочных нитей, что может привести к повреждению вагона и груза.

Такая ситуация обусловлена действием сил инерции при прохождении железнодорожным составом стрелочных переводов на большой скорости и входе в кривые малого радиуса (350–500 м). Вследствие нарушения целостности средств крепления возникает необходимость повторно закреплять груз в процессе транспортировки к станции назначения.

В работах [4–6] авторами неоднократно подтверждается тот факт, что существующая методика расчета креплений грузов на открытом подвижном составе требует корректировки.

В работе [7] выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния устройства для фиксации от перемещений контейнеров большой вместимости при перевозке водным транспортом.

Авторами [8–10] на основе компьютерного моделирования динамики открытого подвижного состава с размещенными на нем трубами большого диаметра выработаны рекомендации по числу и параметрам средств крепления, а также выполнены исследования напряженно-деформированного состояния элементов крепления труб большого диаметра на платформе и анализ влияния ослабления элементов крепления на относительное движение закрепленного груза.

В исследовании [11] показана необходимость уточненных расчетов размещений грузов на сочлененных платформах, обусловленная кривизной железнодорожного пути в плане и профиле.

На основе анализа исследований отечественных и зарубежных авторов можно сделать вывод о том, что вопросы крепления грузов на открытом подвижном составе требуют использования современных возможностей компьютерного моделирования для решения практических задач.

Таким образом, целью исследования является установление причин нарушения целостности средств крепления длинномерных грузов и разработка рекомендаций по обеспечению их эффективного крепления на примере перевозки рельсов на основе компьютерного моделирования.



Рисунок 1 – Размещение длинномерных грузов на сцепе из двух платформ

Рельсы марки Р65 имеют длину 25 м и грузятся на сцеп из двух платформ с базой 9,72 м (рисунок 2). Сцеп состоит из двух четырехосных платформ 13–401 длиной 13,4 м. Нижний ярус отдельно прикреплен растяжками и обвязками к платформе. Остальные ярусы увязаны и между собой, и с нижним ярусом при помощи обвязок.

Под рельсы на пол каждой платформы укладываются две деревянные и две металлические поперечные подкладки. Обильно смазанные металлические подкладки располагаются между деревянными и предназначены для наилучшего скольжения рельсов по ним во время выполнения входа в поворот и переезда стрелочного

перевода. Подкладки закрепляются деревянными брусками. Рельсы на платформу укладываются в четыре яруса в соответствии с рисунком 3 [1].

Общий вес груза составляет 110 т. Обычно нижний ярус жестко закрепляется с двух концов путем забивания костылей в деревянную подкладку слева и справа от яруса. Проезд через сортировочную горку такого сцепа не допускается.

Практика показывает, что спустя некоторое время после отправки такого груза происходит разрыв подкладочного бруса с одной из сторон нижнего яруса, в результате чего проволочные нити обвязки деформируются, ярусы выходят из равновесного состояния и

распадаются. Вследствие этого возникает необходимость повторно производить крепление груза в процессе доставки до станции назначения. Особенностью перевозимых рельсов является отсутствие отверстий, которые предназначены для болтовых соединений. Поэтому сложно увязать рельсы между собой в каждом ярусе.

Для крепления растяжек и обвязок на платформах используют боковые и торцевые стоечные скобы; опорные кронштейны на концевой балке рамы; напольные увязочные устройства (при наличии); боковые скобы на платформах.

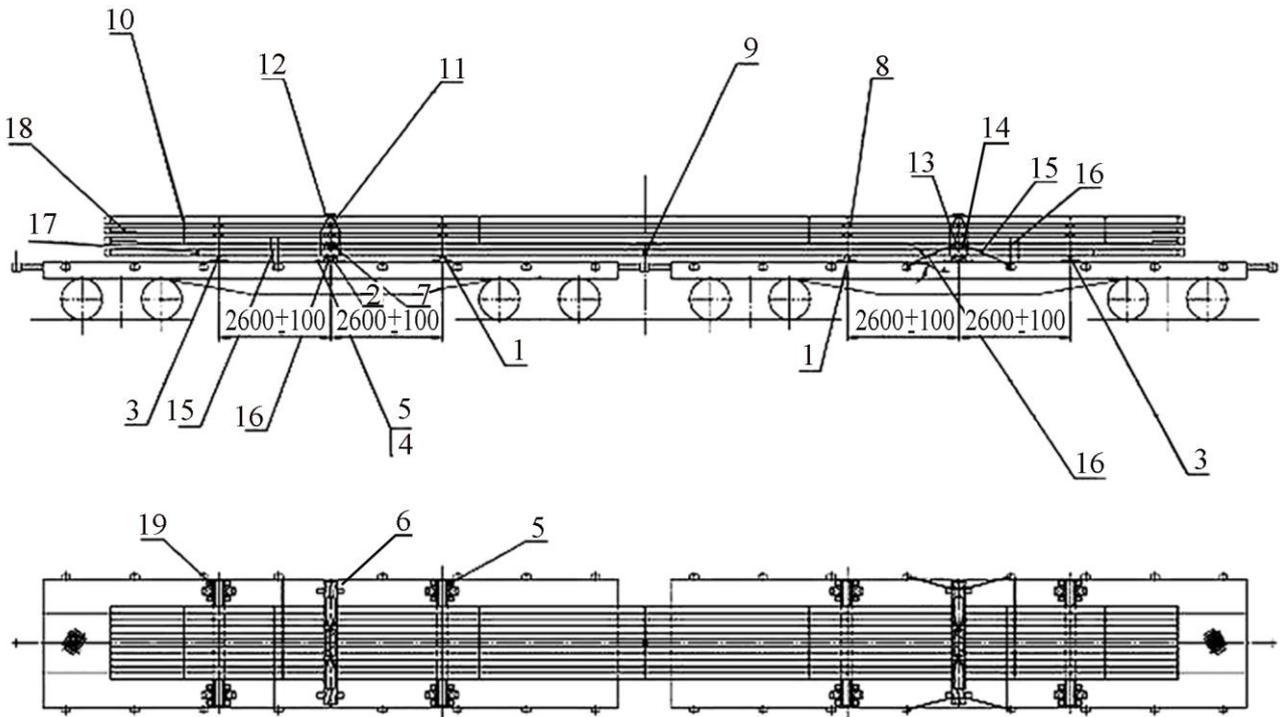


Рисунок 2 – Схема крепления рельсов на сцепе из двух платформ:

1 – скользя (шахтная стойка); 2 – подкладка; 3 – скользя (рельс); 4 – гвоздь; 5, 19 – рельсовые подкладки; 6 – брусок; 7 – утолщенная прокладка; 8 – прокладка; 9–11, 17, 18 – увязки; 12 – накладка; 13, 14 – костыли; 15, 16 – растяжки

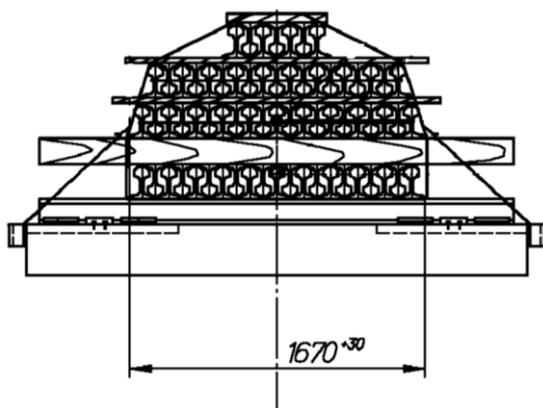


Рисунок 3 – Поуровневая схема погрузки рельсов (вид с торца платформы)

Продольная инерционная сила, тс,

$$F_{пр} = a_{пр} Q_{гр},$$

где  $a_{пр}$  – удельная продольная инерционная сила на 1 т массы груза, тс/т;  $Q_{гр}$  – масса груза, т.

Значение  $a_{пр}$  для конкретной массы груза при погрузке с опорой на два вагона определяется по формуле

$$a_{пр} = a_{44} - \frac{Q_{гр}^0 (a_{44} - a_{188})}{144},$$

где  $Q_{гр}^0$  – общая масса груза в вагоне или на сцепе, т;  $a_{44}$ ,  $a_{188}$  – значения удельной продольной инерционной силы в зависимости от типа крепления при массе брутто соответственно сцепа: 44 т и 188 т; при упругом креплении груза  $a_{44} = 1,2$ ;  $a_{188} = 0,86$ .

Поперечная горизонтальная инерционная сила  $F_{п}$  с учетом действия центробежной силы определяется по формуле

$$F_{п} = a_{п} Q_{гр} / 1000,$$

где  $a_{п}$  – удельная поперечная инерционная сила на 1 т массы груза, кгс/т; с опорой груза на два вагона  $a_{п} = 400$  кгс/т.

Вертикальная инерционная сила  $F_{в}$ , тс, определяется по формуле

$$F_{в} = a_{в} Q_{гр} / 1000,$$

где  $a_v$  – удельная вертикальная сила на 1 тонну массы груза, кгс/т,

$$a_v = 250 + kl_{гр} + \frac{2140}{Q_{гр}}$$

Коэффициент  $k$  при погрузке с опорой на два вагона принимают равным 20.

Ветровая нагрузка  $W_n$ , тс, определяется с учетом удельной ветровой нагрузки, равной 50 кгс/м<sup>2</sup>, по формуле

$$W_n = 50 S_n / 1000,$$

где  $S_n$  – площадь наветренной поверхности груза (проекции поверхности груза, выступающей за пределы продольных бортов платформы либо боковых стен полувагона, на продольную плоскость симметрии вагона), м<sup>2</sup>.

Силы трения, тс, препятствующие перемещению груза, опирающегося на один или два вагона без применения турникетных опор, определяются по формулам:

– в продольном направлении –

$$F_{тр}^n = Q_{гр} \mu;$$

– в поперечном направлении –

$$F_{тр}^n = Q_{гр} \mu (1000 - a_v) / 1000,$$

где  $\mu$  – коэффициент трения между контактирующими поверхностями груза и вагона (или подкладок).

Усилия, воспринимаемые элементами крепления, определяются по формулам:

– в продольном направлении –

$$\Delta F_{тр} = F_{пр} - F_{тр}^{пр},$$

– в поперечном направлении –

$$\Delta F_n = n(F_n + W_n) - F_{тр}^n.$$

Компьютерное моделирование было выполнено в среде инженерного пакета MSC ADAMS (рисунок 4).

Платформы, рельсы, подкладки и прокладки моделировались при помощи твердых тел. Увязки и растяжки в модели представляли собой связь типа «пружина», жесткость которой соответствует жесткости конкретных гибких средств крепления. Один конец груза был жестко заземлен. Второй конец длинномерного груза был закреплен от возможного перемещения в поперечном направлении только обвязкой, соответственно конец груза мог менять свое положение относительно продольной оси платформы. Связь между платформами также моделировалась пружиной, имеющей необходимые коэффициенты жесткости и демпфирования, соответствующие аппарату автосцепки.

Анализ движения сцепа по прямолинейному пути показал, что динамика увязанных в ярусы рельсов при перемене режима движения соответствует динамике сплошных тел. Поэтому для дальнейших расчетов применялась упрощенная модель, в которой ярусы были заменены прямоугольными параллелепипедами соответствующей массы. Проезд через сортировочную горку такого сцепа по нормативным требованиям не допускается, поэтому проводился динамический анализ модели для двух случаев: вход сцепа в кривую малого радиуса (350 м) со скоростью 5 м/с и переезда по стрелочному переводу со скоростью 20 м/с.

Одной из задач при выполнении работы являлось определение максимального смещения нижнего яруса в сравнении с первоначальным его положением на подкладке или максимального отклонения продольной оси нижнего яруса рельсов от продольной оси платформы. Для этого один конец нижнего яруса был жестко закреплен, а другой мог свободно перемещаться в поперечном направлении. Расчеты показали, что максимальное смещение рельсов нижнего яруса составляет около 11,5 см (рисунок 5).

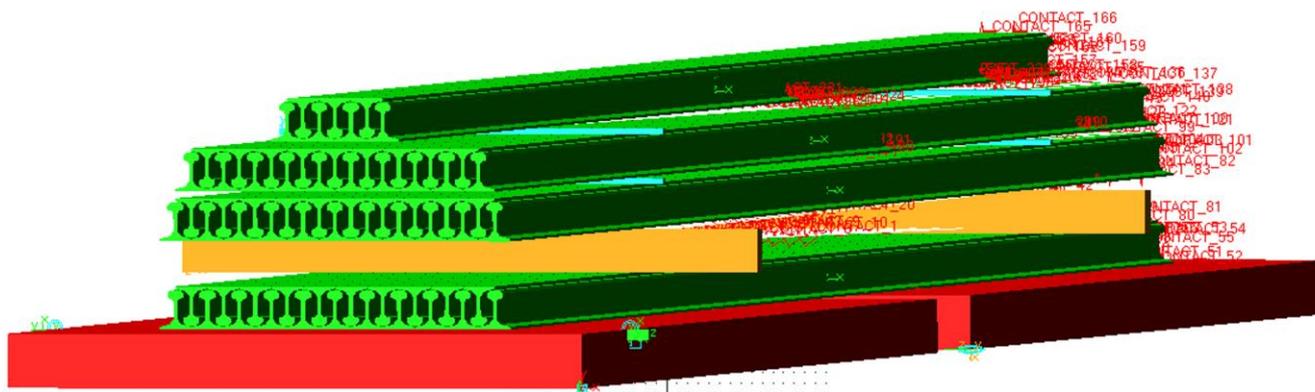


Рисунок 4 – Компьютерная модель крепления рельсов на сцепе из двух платформ в MSC ADAMS

Таким образом, при размещении костылей в деревянных подкладках на расстоянии более 12 см от крайнего рельса удары рельсов о костыли не будут происходить. Следует учитывать, что при указан-

ном смещении костыля расстояние между ним и концом деревянной подкладки уменьшается. Это может стать причиной образования трещин и разрыва подкладки.

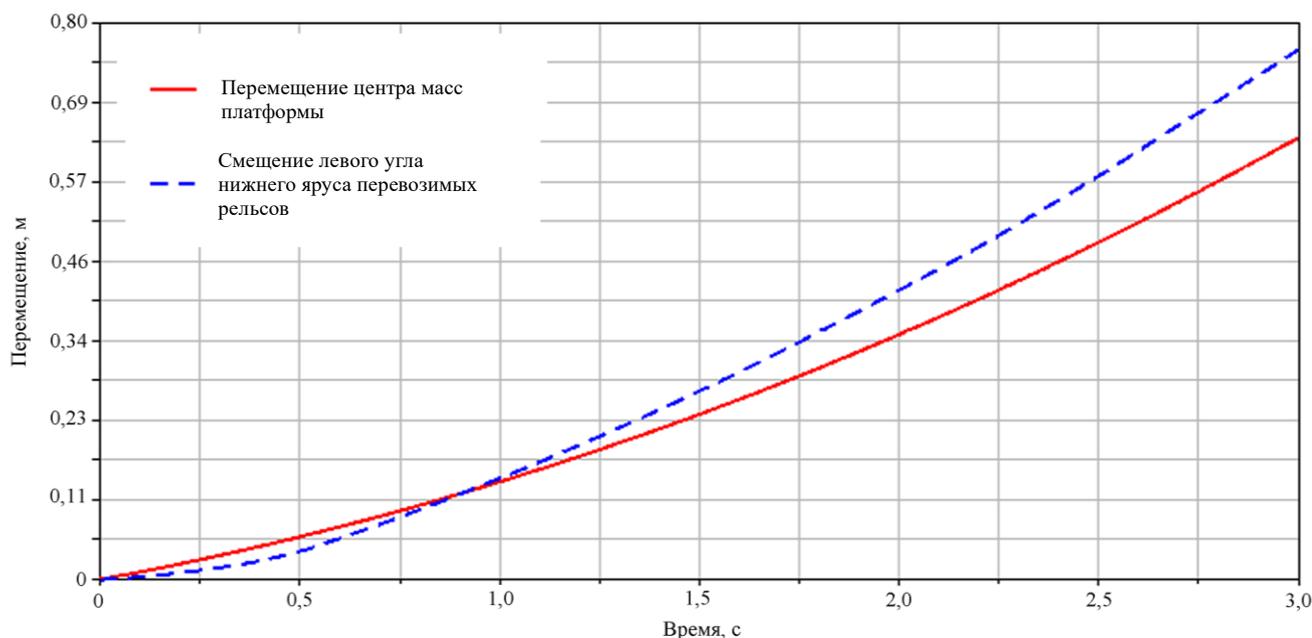


Рисунок 5 – Результаты компьютерного моделирования

*Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект T22M-073).*

#### Список литературы

- 1 Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС): действует с 1 ноября 1951 г. с изм. и доп. на 1 июля 2015 г. – Минск : Амалфея, 2015. – 216 с.
- 2 Tiedown Handbook for Rail Movements / R. E. Kerr [et al.] ; Transportation Engineering Agency ; ed. by R. E. Kerr. – Virginia : Newport News, 2003. – 97 p.
- 3 Equipment for rational securing of cargo on railway wagons / N. Andersson [et al.] ; ed. by N. Andersson. – Högåns : Vinnova – Swedish Agency for Innovation Systems, 2004. – 228 p.
- 4 **Туранов, Х. Т.** О необходимости совершенствования технических условий размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах / Х. Т. Туранов, Н. А. Мясникова, Н. М. Метель // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Красноярск, 2005 г. : в 2 т. / Иркутск. гос. ун-т путей сообщ. ; редкол.: В. П. Сувор (отв. ред.) [и др.]. – Красноярск, 2005. – Т. 2. – С. 113–117.
- 5 **Тимухина, Е. Н.** Совершенствование методики расчета гибких элементов креплений груза на открытом железнодорожном подвижном составе : автореф. дис. ... канд. техн.

наук : 05.22.08 / Е. Н. Тимухина ; Уральск. гос. ун-т путей сообщ. – Екатеринбург, 2006. – 24 с.

6 **Псеровская, Е. Д.** Совершенствование способов перевозки и методов расчета крепления грузов с плоским основанием на открытом подвижном составе : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Е. Д. Псеровская ; Сиб. гос. ун-т путей сообщ. – Новосибирск, 2000. – 17 с.

7 **Stenkvist, N.** Design of a cargo fastening device with a load indicator for heavy cargo / N. Stenkvist. – 2014. – 44 p.

8 **Shimanovsky, A. O.** Finite element modeling of the unit for fastening pipes on railway flatcars / A. O. Shimanovsky, I. A. Varazhun, A. U. Zavarotny // Proc. 8th GRACM Inter. Congr. on Comput. Mech. – 2015. – P. 1–6.

9 **Ворожун, И. А.** Определение динамических сил в креплении труб к платформе при соударении вагонов // И. А. Ворожун, А. В. Заворотный, А. В. Шилович // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – № 2 (30). – С. 47–51.

10 **Заворотный, А. В.** Влияние ослабления крепления на величину продольного смещения труб / А. В. Заворотный, И. А. Ворожун // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2008. – № 1. – С. 81–84.

11 **Кукушина, Н. А.** Разработка методики и расчет условий прохождения сочлененными платформами сортировочных горок и кривых участков пути / Н. А. Кукушина // Транспорт Российской Федерации: Журнал о науке, практике, экономике. – 2013. – № 2 (45). – С. 71–75.

Получено 22.09.2022

**S. A. Petrachkou, M. G. Gegedesh.** Computer simulation of transportation of long cargo on a couple of railroad flatcars.

In the paper there are shown the results of computer modeling of the rails transportation on the couple of two railroad flatcars, the parameters of the relative displacement of the transported cargo are determined and on their basis the recommendations for the placement of crutches in wooden lining were developed in order to prevent the rails-crutches dynamic shock.