

УДК 629.4.045:629.4.015

*М. Г. ГЕГЕДЕШ, А. В. ВОРОЖУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

## **ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

Выполнен анализ особенностей транспортировки длинномерных грузов на железнодорожном подвижном составе, обусловленных геометрическими параметрами грузов, свойствами материалов, из которых выполнены грузы и средства крепления, а также характером динамических нагрузок, испытываемых такими грузами в процессе перевозки.

**Ключевые слова:** длинномерный груз, устройства крепления, динамические нагрузки при транспортировке, колебания длинномерных грузов.

Постоянное расширение ассортимента перевозимых грузов требует совершенствования как вагонного парка, так и способов размещения и крепления грузов на подвижном составе. На каждом виде транспорта существует понятие длинномерного или крупногабаритного груза. Так, при перевозках железнодорожным транспортом это понятие применяется к грузам, длина которых превышает длину вагона более чем на 400 мм с каждой торцевой стороны [1]. К их числу относятся, например, металлопрокат и железобетонные изделия.

Один из путей решения задачи о транспортировке длинномерных грузов связан с созданием новых вагонов. Так, в работе [2] отмечают, что на ОАО «Абаканвагонмаш» создана многофункциональная платформа, длиной 26,06 м для перевозки крупнотоннажных контейнеров, труб большого диаметра и штрипсов. Аналогичная платформа изготовлена на ОАО «Трансмаш» в г. Энгельсе. Как утверждают авторы [2], платформы прошли весь комплекс испытаний и могут быть рекомендованы к производству. Однако такой подход требует значительных затрат временных и материальных ресурсов.

В настоящее время в Республике Беларусь при подготовке груза к транспортированию, проведении расчетов по размещению и средствам крепления грузов необходимо руководствоваться Правилами [3]. Если в них какие-либо грузы не рассматриваются, то их размещение и крепление может быть выполнено в соответствии с Местными техническими условиями (далее МТУ), действующими на железной дороге отправления, или схемами размещения и крепления грузов (далее – НТУ), которые должны быть разработаны в соответствии с требованиями, указанными в [3]. Кроме того, рекомендуется использовать межгосударственный стандарт ГОСТ 26653-2015 «Подготовка генеральных грузов к транспортированию. Общие требования», который действует в Беларуси, Армении, Казахстане, Киргизии, России и Таджики-

стане и устанавливает общие требования по подготовке генеральных грузов к транспортированию в прямом и смешанном сообщениях автомобильным, железнодорожным, воздушным и водным видами транспорта. На зарубежных железных дорогах пользуются аналогичными нормативными документами, например [4, 5], или схемами крепления грузов, рассчитанными отдельно.

Современные локомотивы обладают повышенной мощностью, в результате чего возможно увеличение длины и массы составов грузовых поездов, динамика которых может существенно отличаться от поездов стандартной длины вследствие действия продольно-динамических сил в межвагонных соединениях [6, 7], которые оказывают влияние на плавность хода подвижного состава и относительные смещения транспортируемых грузов в кривых участках, переломах профиля пути и на затяжных спусках, что также необходимо учитывать при подборе схем крепления длинномерных грузов.

Нагруженность элементов конструкций подвижного состава и таких грузов при транспортировке отличается для случаев погрузки на один вагон, сцеп вагонов или сочлененные вагоны. Наибольшие динамические нагрузки возникают при перевозке длинномерных грузов на сцепе вагонов при провисании таких грузов между опорными устройствами и смещении осей вагонов друг относительно друга в случае движения по криволинейному в плане или профилю пути.

Цель представленной работы – исследование особенностей транспортировки длинномерных грузов на сцепе вагонов, связанных с динамикой таких грузов при различных режимах движения.

Авторы [8] отмечают, что при транспортировке длинномерных объектов с размещением на сцепе из двух вагонов-платформ возникает продольно-изгибные колебания груза. На основе аналитического и компьютерного моделирования динамической нагруженности штабеля определена нагруженность платформ сцепа и рассчитаны динамические показатели системы «длинномерный груз – сцеп вагонов», учет которых важен для обеспечения безопасности перевозки и сохранности грузов.

В работе [9] представлены результаты расчетов, полученные в ходе компьютерного моделирования устройства крепления рельсов при их перевозке на сцепе из двух платформ. Моделирование выполнялось с использованием инженерного пакета MSC ADAMS. Отмечено, что отсутствие в рельсах отверстий для болтовых соединений обуславливает сложность их увязки в ярусы. Результаты моделирования показывают, что средства крепления рельсов подвержены значительным деформациям при переходных режимах движения подвижного состава.

Для удержания транспортируемых длинномерных грузов от их относительного перемещения в процессе перевозки используют такие специализированные устройства, как фитинговые упоры [10, 11]; упругие, гравитационные и комбинированные турникетно-крепежные устройства (ТКУ) [12, 13],

а также иные конструкции, которые необходимо разрабатывать и испытывать на прочность для каждого отдельного вида грузов.

В работе [14] рассмотрены закономерности колебаний длинномерных грузов и установлены оптимальные параметры амортизирующих устройств путем математического моделирования динамической системы «железнодорожная платформа – турникет – длинномерный груз» с учетом динамики столкновения. Защита длинномерного груза осуществляется путем дополнительной подвески. Снижение вертикальных ускорений возможно за счет снижения жесткости рессорной подвески нагруженных тележек. Авторы работы указывают на то, что увеличение жесткости межвагонного соединения приводит к увеличению ускорения и движения турникетного устройства; увеличение нагрузки на турникет увеличивает степень его износа, поскольку сцепка платформы полностью нагружена.

Моделирование пространственных колебаний платформы с прикрепленным длинномерным грузом представлено в работе [15]. Автор полагает, что перевозка сверхдлинных грузов на сцепе платформ встречается крайне редко. В связи с этим рассматривается крепление длинномерного груза на платформе посредством двух упругих опор. При этом концы груза (консоли) располагаются над платформами прикрытия. Представленная расчетная схема (рисунок 1) позволяет моделировать поведение механической системы «платформа – груз» при разной массе и длине груза.

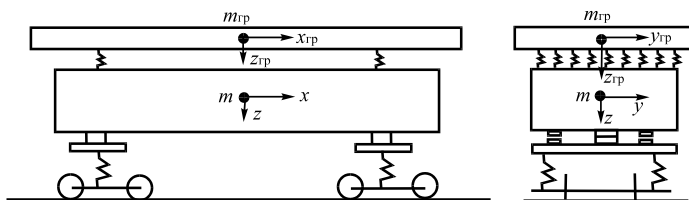


Рисунок 1 – Расчетная схема вагона-платформы с длинномерным грузом

Особый интерес представляет моделирование поведения механической системы «платформа – груз» при многоярусном по высоте размещению груза. Моделированию поведения платформы, загруженной железобетонными плитами в четыре яруса, в процессе соударения вагонов посвящена работа [16]. Представленная в ней математическая модель учитывает влияние сил упругости элементов крепления, а также сил сухого трения между ярусами груза (рисунок 2). В ходе проведения исследований установлено, что верхняя плита имеет наибольшее перемещение, а нижняя – наименьшее. Полученные аналитическим способом выводы о закономерности продольного смещения ярусов железобетонных плит подтверждены результатами натурных испытаний.



Рисунок 2 – Многоярусная погрузка железобетонных плит

В работе [17] представлена транспортировка длинномерных грузов на вагонах сочлененного типа, отличающихся от обычных опиранием секций на одну общую тележку. В таких вагонах шарнирное соединительное устройство является составной несъемной частью несущей конструкции вагона и соединяет две секции вагона, передавая нагрузки от их опор на общую тележку. Например, вагон-платформа модели 13-9894 (рисунок 3) при грузоподъемности 89,5 т имеет конструктивную скорость 140 км/ч.



Рисунок 3 – Сочлененный вагон-платформа модели 13-9894

Для перевозки крупногабаритных железобетонных конструкций рекомендуется использовать 6-осные сочлененные вагоны модели 13-470-01, а также двухплатформенные вагоны модели 13-470. Закрепление длинномерных конструкций на них осуществляется турникетно-крепёжными устройствами. Однако в этом случае требуется выбрать места установки турникетных опор, при которых обеспечиваются одинаковые нагрузки на тележки.

Иные конструктивные решения сочлененных грузовых вагонов представлены в [18]. Проведенный технико-экономический анализ их применения для транспортировки контейнеров показал, что наиболее предпочтителен вагон из двух-трех секций, для соединения которых целесообразно использовать устройства сочленения, обеспечивающие вращение вокруг трех осей координат. Для перевозки автомобилей перспективен обладающий большой вместимостью восьмиосный вагон из трех секций (рисунок 4).

Таким образом, анализ имеющихся исследований демонстрирует, что особенности динамического взаимодействия длинномерных грузов с подвижным составом обусловлены их колебаниями в вертикальной плоскости, а также упругими свойствами материалов, из которых изготовлены грузы и средства их крепления, что не нашло отражения в нормативных документах, регламентирующих транспортировку.

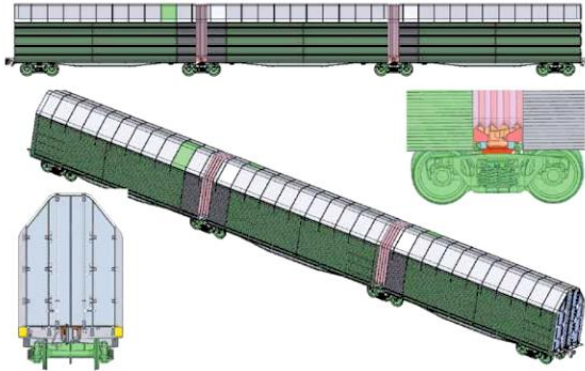


Рисунок 4 – Трехсекционный сочлененный вагон для перевозки автомобилей

Развитие теории транспортировки длинномерных грузов требует создания новых математических и компьютерных моделей, учитывающих перемещение таких грузов относительно вагонов при переходных режимах движения как стандартных по массе, числу вагонов и скорости движения поездов, так и скоростных составов, имеющих повышенную массу и длину.

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах № ЦМ-943 : утв. 27.05.2003 МПС России. – М. : Юртранс, 2003. – 544 с.

2 **Порядин, С. И.** О ходе создания грузовых вагонов нового поколения / С. И. Порядин, Ю. П. Бороненко, В. Н. Цюренко // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : сб. науч. статей. – СПб. : ПГУПС, 2005. – С. 5–16.

3 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.

4 Tiedown Handbook for Rail Movements / R. E. Kerr [et al.] ; Transportation Engineering Agency ; ed. by R. E. Kerr. – Virginia : Newport News, 2003. – 97 p.

5 Equipment for rational securing of cargo on railway wagons / N. Andersson [et al.]. – Högansås : Vinnova – Swedish Agency for Innovation Systems, 2004. – 228 p.

6 The influence of resistant force equations and coupling system on long train dynamics simulations / N. Bosso [et al.] // Journal of Rail and Rapid Transit. – Vol. 236, is. 1. – P. 35–47.

7 **Сахаров, П. А.** Исследование продольных сил в грузовых поездах при движении по переломам продольного профиля пути / П. А. Сахаров // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – Вып. 11. – С. 209–219.

8 **Шатунов, О. В.** Динаміка зчепу вагонів-платформ під час перевезення довгомірного вантажу / О. В. Шатунов, А. О. Швець // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2020. – № 4 (88). – С. 114–131.

9 **Мозгрин, С. В.** Эффективность организации перевозок длинномерных грузов на фитинговых платформах с различной длиной погрузочных площадок / С. В. Мозгрин, Г. Е. Писаревский // Вестник ВНИИЖТ. – 2019. – Т. 78, № 4. – С. 203–209.

10 **Васильев, С. М.** Совершенствование подвижных турникетно-крепежных устройств с целью установки на современные типы грузовых вагонов / С. М. Васильев, А. А. Железняков, Л. П. Целковицова // Механика. Исследования и инновации. – 2019. – Вып. 12. – С. 29–34.

11 **Петрачков, С. А.** Компьютерное моделирование длинномерных грузов на сцепе из двух платформ / С. А. Петрачков, М. Г. Гегедеш // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 2 (45). – С. 117–120.

12 **Васильев, С. М.** Математическое моделирование динамических воздействий на длинномерные грузы и опорные вагоны / С. М. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2006. – № 1–2 (12–13). – С. 30–36.

13 Research of the operation of the turnstile support-fastening device during the transportation of a long-dimensional heavy load / J. Musayev [et al.] // Vibroengineering Proceedings. – 2023. – Vol. 49. – P. 80–85.

14 **Legeza, V. P.** Dynamic Processes in a Mechanical System with Shock-Absorbing Cargo-Securing Devices with Dry Friction / V. P. Legeza // International Applied Mechanics. – 2021. – Vol. 57, is. 4. – P. 455–465.

15 **Анисимов, П. С.** Модель пространственных колебаний платформы с длинномерным грузом / П. С. Анисимов // Мир транспорта. – 2013. – № 4. – С. 6–13.

16 **Псеровская, Е. Д.** Изучение динамики многоярусного груза и воспринимаемых креплением нагрузок при маневровых соударениях вагонов / Е. Д. Псеровская, С. Ю. Хорунжин // Известия Транссиба. – 2010. – № 1 (1). – С. 106–112.

17 **Чаганова, О. С.** Особенности крепления грузов на сочленённых вагонах-платформах / О. С. Чаганова, Т. И. Быстренкова, Е. В. Меньшова // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. В 5 ч. Ч. 5. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 143–145.

18 **Бороненко, Ю. П.** Выбор конструктивных решений сочлененных грузовых вагонов для колеи 1520 мм / Ю. П. Бороненко, Т. М. Белгородцева, Н. А. Кукушкина // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 3. – С. 3–9.

*M. G. GEGEDESH, A. U. VARAZHUN*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

## **PECULIARITIES OF LONG CARGO TRANSPORTATION BY RAILWAY TRANSPORT**

There is performed an analysis of the long cargo railway transportation peculiarities, determined by the geometric parameters of the cargo, the properties of the materials of the cargo and fastening devices, as well as the nature of the dynamic loads experienced by such cargo during transportation.

**Keywords:** long cargo, fastening devices, dynamic loads at transportation, long cargo oscillations.

Получено 22.10.2023.