

ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ ГРУЗОВ, ПЕРЕВОЗИМЫХ НА ОТКРЫТОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

Приведены результаты анализа подходов к математическому моделированию динамики транспортируемых на открытом железнодорожном составе грузов, применяемых в исследованиях авторов из стран СНГ и дальнего зарубежья.

Введение. В настоящее время значительное число грузов, предъявляемых к перевозке железнодорожным транспортом, перевозится на открытом подвижном составе (далее – ОПС), в частности, на железнодорожных платформах и транспортерах (рисунок 1).

Анализ выполнения графика движения поездов за 2022 год показывает, что на грузовое хозяйство отнесены задержки по 14 поездам (2 поезда по влиянию). Задержки поездов допущены по причине нарушения сохранности грузов при их транспортировке.

Крепление и размещение грузов в полувагонах и на платформах регламентируется Правилами [1]. Если какие-либо грузы не предусмотрены Правилами [1], их размещение и крепление следует выполнять в соответствии с действующими на железной дороге отправления Местными техническими условиями (далее МТУ) или схемами размещения и крепления грузов (далее – НТУ), разработанными в соответствии с требованиями, указанными в [1]. На зарубежных железных дорогах пользуются аналогичными нормативными документами или отдельно рассчитанными схемами крепления грузов.

В последнее время существенно увеличилась масса и длина составов поездов и их скорость движения, что может привести к необеспечению безопасной их эксплуатации и несохранности перевозок грузов, в том числе за счет продольно-динамических сил в межва-

гонных соединениях, которые оказывают влияние на плавность хода подвижного состава и относительные смещения транспортируемых грузов в кривых участках, переломах профиля пути и на затяжных спусках.

Поэтому модернизация подходов к математическому моделированию транспортировки грузов на открытом подвижном составе является актуальной задачей.

В соответствии с [1] при математическом моделировании транспортировки грузов необходимо учитывать следующие ограничения:

- масса груза и средств крепления меньше либо равна трафаретной грузоподъемности вагона;
- при погрузке груза на сцеп из двух вагонов с опиранием на каждый из них доля общего загруженного веса не должна превышать грузоподъемность каждого вагона в сцепе;
- нагрузка на оси вагона от общей массы груза и средств крепления меньше либо равна допускаемой нагрузке на рельсы железных дорог всех задействованных государств;
- в продольном направлении выход недлинномерного груза за пределы концевых балок меньше либо равен 400 мм;
- смещение общего центра тяжести груза в продольном и поперечном направлениях относительно центра тяжести вагона не превышает принятых в [1] значений.

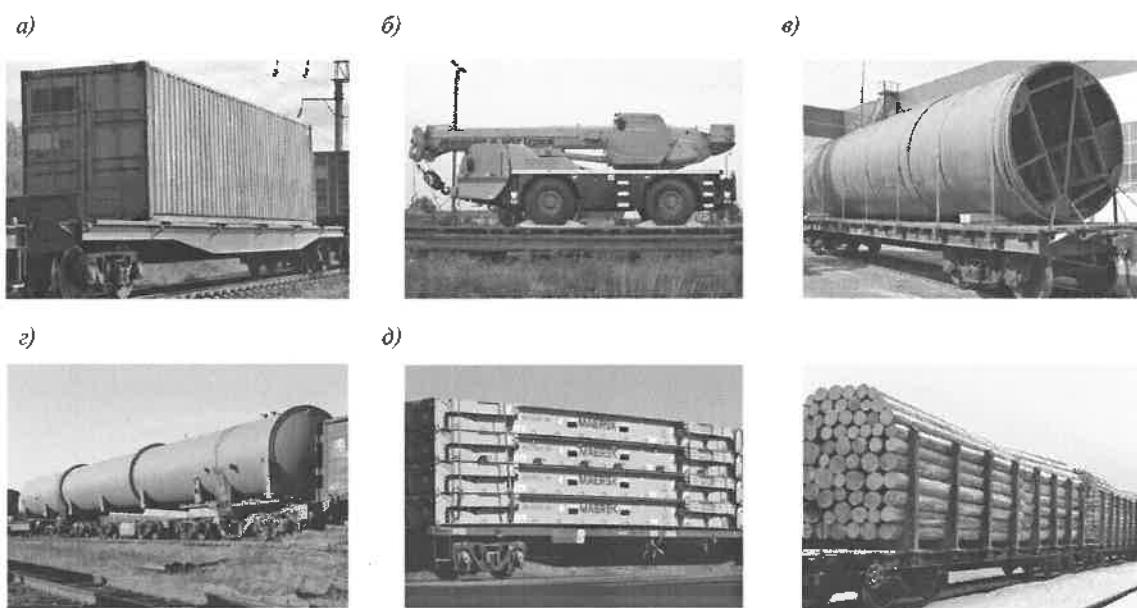


Рисунок 1 – Основные виды грузов, перевозимых на железнодорожных платформах и транспортерах:
а – с плоскими опорами; б – на колесном ходу; в – цилиндрической формы; г – длинномерные грузы; д – грузы, размещенные штабелями

В последние десятилетия значительное число работ, связанных с математическим моделированием динамики грузов, предъявляемых к перевозке железнодорожным ОПС, выполнены Турановым Х. Т. и его коллегами.

Так, в статье [2] приведена математическая модель динамики груза, размещенного на платформе, при движении по прямому участку пути (рисунок 2). При этом показано, что усилия, воспринимаемые элементами крепления, не одинаковы, как принимается в соответствии с [1]. Это приводит к ситуации, когда прочность отдельных элементов креплений не обеспечена.

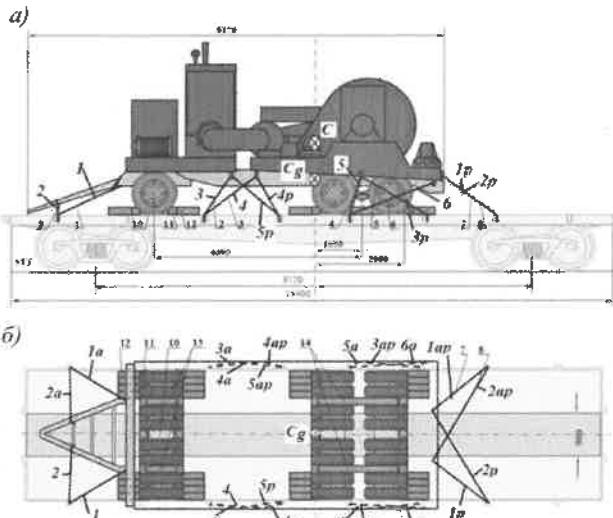


Рисунок 2 – Схема размещения и крепления груза на вагоне:
а – главный вид; б – вид сверху

В работе [3] проводились исследования динамического поведения системы «груз – крепления» при движении подвижного состава в кривой. Авторами представлены разработанные с применением принципа Даламбера математические модели вагона с одним штучным грузом, имеющим плоскую опору, с учетом смещения центра тяжести груза в поперечной плоскости и наклона рамы вагона в кривых (рисунок 3). На основе разработанной математической модели автором проанализировано влияние смещения центра тяжести груза на значения давления колес на рельсовые нити при определенной скорости движения и на коэффициенты устойчивости вагона. При этом учитывалось, что груз крепится гибкими элементами.

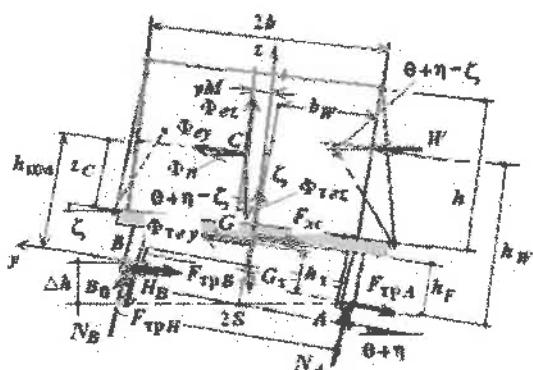


Рисунок 3 – Математическая модель вагона со штучным грузом с плоской опорой на кривом участке пути [3]

Физико-геометрические характеристики элементов крепления, а также значения внешних сил, воспринимаемых креплением и грузом, учтены автором при создании математической модели, приведенной в [4]. Разработанная модель транспортировки груза на ОПС с учетом сдвига груза основана на учете воздействия пространственной системы сил, которое воспринимают вагон, упругие и упорные деревянные средства креплений (рисунок 4) и позволяет рассчитывать необходимое число растяжек при усложнении условий перевозки груза.

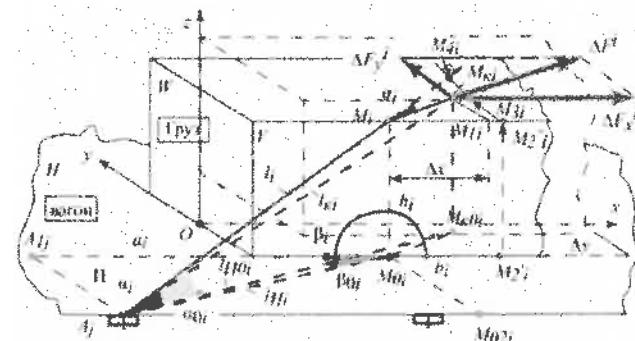


Рисунок 4 – Пространственная модель распределения нагрузки при состоявшемся сдвиге при наличии боковой возмущающей нагрузки [4]

Математические модели динамики закрепленных на платформе двух контейнеров-цистерн груза приведены, например, в [5]. Здесь рассматривается случай столкновения платформы с контейнерами-цистернами с группой неподвижно стоящих вагонов.

Особенности динамического поведения цилиндрических грузов на основе математического моделирования приведены, например, в работах [6–8]. В частности, в статье [6] приведена динамическая модель транспортировки труб большого диаметра на платформе (рисунок 5), при использовании которой можно учесть ослабление креплений с какой-либо из сторон, а также ударное взаимодействие при контакте с неподвижно стоящими вагонами. В описанной модели все тела все тела считаются абсолютно твердыми, а канаты продольного крепления труб и поперечной обвязки – упругими свойствами с линейными характеристиками.

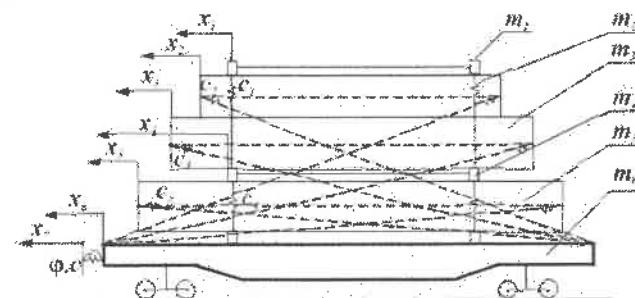


Рисунок 5 – Расчетная схема воздействия платформы и труб при соударении вагонов [6]

В статье [9] приведена расчетная математическая модель системы «вагон – груз» с подвижными турникетно-крепежными устройствами для случаев соударе-

ния цепа из двух вагонов с грузом с неподвижной стенкой, состоящей из трех вагонов, на основе применения принципа Даламбера. В работе [10] подобная задача решена с использованием теории колебаний механических систем с конечным числом степеней свободы.

Отдельными исследователями рассматривались особенности нагружения колесных пар при несимметрично расположенному грузу, а также колебания системы «вагон – груз» [11].

В статье [11] представлена расчетная схема грузового вагона, разработанная для исследования колебаний подпрыгивания, галопирования и боковой качки вагона с грузом (рисунок 6). В качестве обобщенных координат при расчетах выбраны вертикальные и угловые (соответствующие галопированию и качке) перемещения.

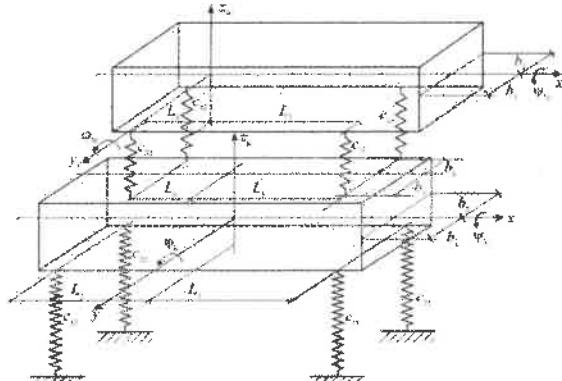


Рисунок 6 – Модель системы «вагон – груз» [11]

Таким образом установлено, что в настоящее время методика расчета средств крепления грузов на железнодорожном подвижном составе использует положения, характерные для механики только твердых тел. При этом в системах «груз – средства крепления – подвижной состав» либо «груз – упаковка – средства крепления – подвижной состав» присутствуют и деформируемые элементы, к которым могут относиться как сами грузы или их компоненты, так и средства крепления.

Для учета основных свойств перечисленных категорий грузов и средств их крепления и упаковки необходимо применять знания механики твердого и деформируемого тела, сплошной среды, жидкостей и газов, а также положения теории упругости, теории организации перевозочного и маневрового процессов, работы путей общего и необщего пользования, что предполагает решение сложных междисциплинарных задач, аналитическое решение которых представляет собой весьма трудоемкий процесс, обусловленный требова-

ниями достоверности и адекватности составления математических моделей.

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 : Амальфейя, 2015. – 216 с.
- 2 Туранов, Х. Т. К расчёту крепления твердотельного груза при воздействии продольных сил / Х. Т. Туранов, Я. О. Рузметов, Ж. А. Шихназаров // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 32–42.
- 3 Ситников, С. А. Оценка устойчивости вагона с грузом со смешенным центром тяжести : автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.08 / С. А. Ситников; Ур. гос. ун-т путей сообщ. – Екатеринбург, 2007. – 24 с.
- 4 Оленцевич, В. А. Математическая формализация величины сдвига груза при воздействии внешних сил для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации вагонного парка / В. А. Оленцевич // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 1 (33). – С. 87–90.
- 5 The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions / F. Oleksij [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Vol. 14, no. 21. – P. 3747–3752.
- 6 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.
- 7 Ворожун, И. А. Анализ корректности математических моделей соударения вагонов-платформ при упругом способе крепления на них ярусов труб / И. А. Ворожун // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 40–46.
- 8 Рыкова, Л. А. Повышение безопасности перевозок на открытом подвижном составе на основе совершенствования методики расчета креплений грузов цилиндрической формы : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Л. А. Рыкова; Ур. гос. ун-т путей сообщ. – Екатеринбург, 2008. – 23 с.
- 9 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.
- 10 Васильев, С. М. Моделирование соударений вагонов при сухом трении в опорах груза / С. М. Васильев, А. Д. Железняков, Л. П. Целковикова // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2016. – № 4 (64). – С. 116–124.
- 11 Каргапольцев, С. К. Математическое моделирование колебаний вагона с несимметричными параметрами / С. К. Каргапольцев, А. А. Ахмадеева, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 4 (44). – С. 91–94.

Получено 14.03.2024

S. A. Petrachkou. Approaches to mathematical modeling of dynamics of cargo transported on the open rolling stock.

In the paper there are shown the results of the analysis of approaches to mathematical modeling of the dynamics of cargoes transported on the open rolling stock, used in the investigations of authors from the CIS countries and abroad.