

УДК 629.463.3:519.1

С. А. ПЕТРАЧКОВ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

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 используются 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 допустимой нагрузке на рельсы железных дорог всех задействованных государств;
- в продольном направлении выход нелинейного 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.

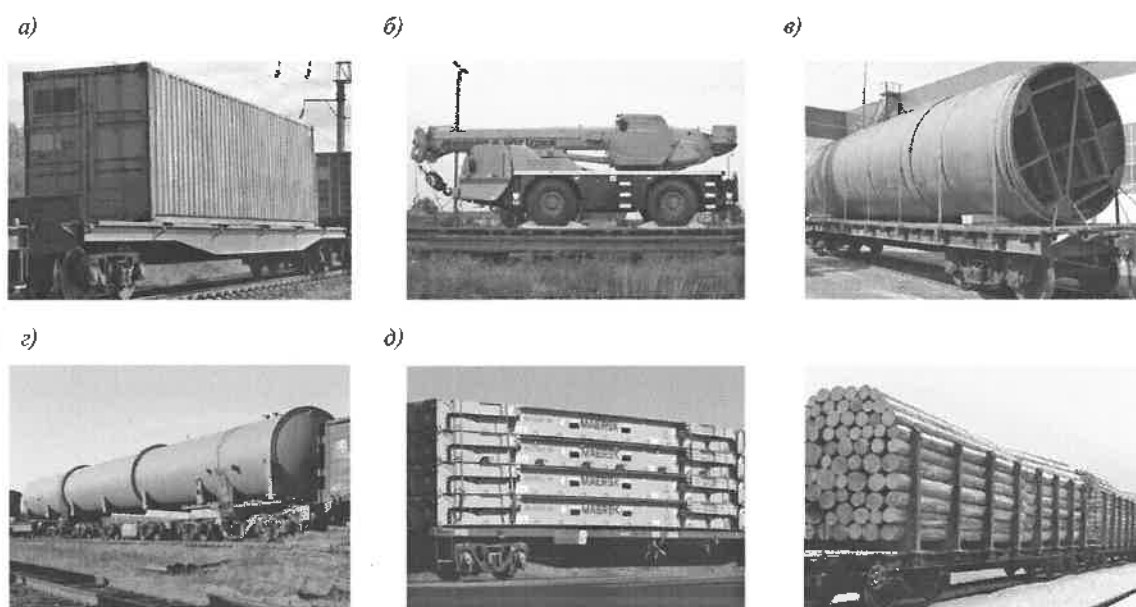


Рисунок 1 – Основные виды грузов, перевозимых на железнодорожных платформах и транспортерах: а – с плоскими опорами; б – на колесном ходу; в – цилиндрической формы; г – длиномерные грузы; д – грузы, размещенные штабелями

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.

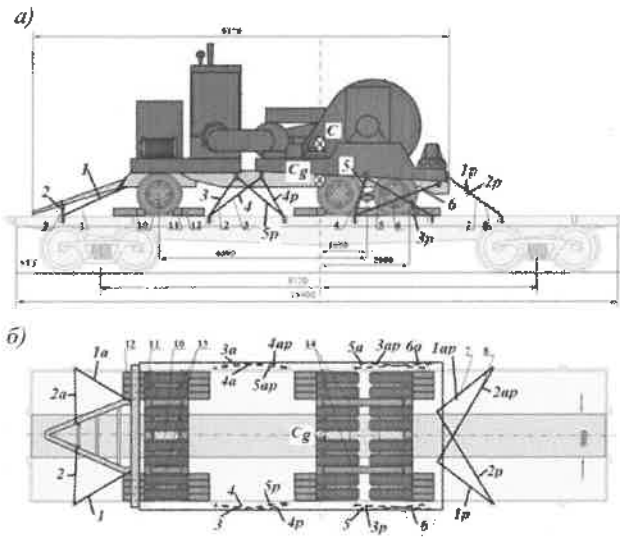


Рисунок 2 – Схема размещения и крепления груза на вагоне: а – главный вид; б – вид сверху

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.

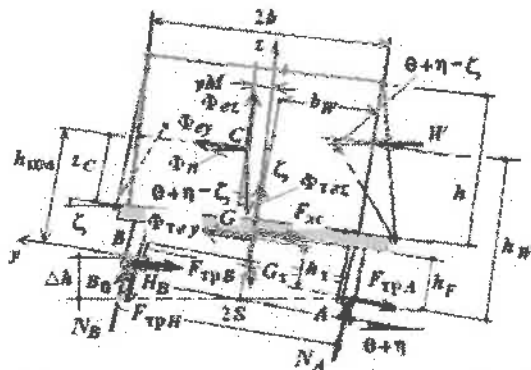


Рисунок 3 – Математическая модель вагона со штучным грузом с плоской опорой на кривом участке пути [3]

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 рассчитать необходимое число растяжек при усложнении условий перевозки груза.

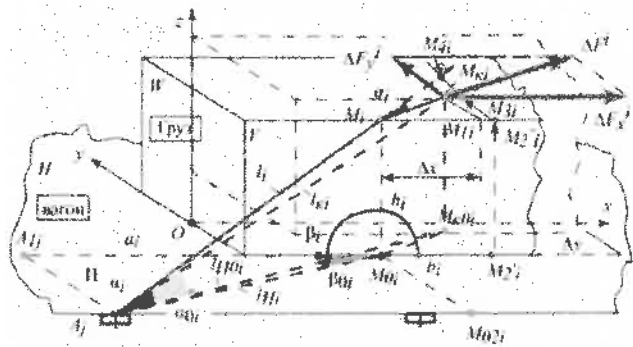


Рисунок 4 – Пространственная модель распределения нагрузки при состоявшемся сдвиге при наличии боковой возмущающей нагрузки [4]

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.

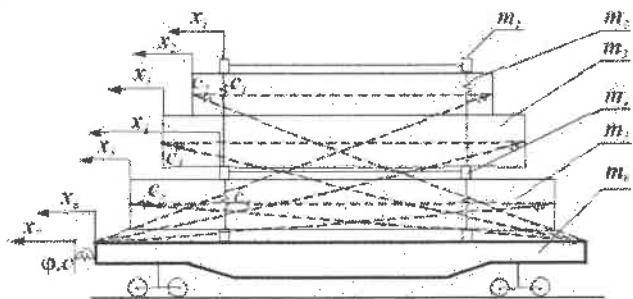


Рисунок 5 – Расчетная схема воздействия платформы и труб при соударении вагонов [6]

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

