

– выбор основных факторов, определяющих величину парка грузовых вагонов. Формирование совокупности факторов, которые в дальнейшем будут подвержены исследованию, проводится на основании экспертного оценивания. Одним из основных требований включения факторов в модель является отсутствие взаимной корреляции;

– задание динамического ряда по каждому из факторов. Для использования многофакторных моделей необходимо использовать большой объем подготовительных работ по формированию массива исходных данных. Каждый из динамических рядов будет описывать работу объектов не менее чем за 10-летний период работы;

– расчет коэффициентов корреляции между исследуемой величиной и факторами, а также факторов между собой. На основании анализа полученных матриц коэффициентов корреляции из моделей удаляются факторы, которые имеют большой коэффициент корреляции с оставшимися в модели факторами. В модели оставляется тот фактор, который является наиболее общим, и имеет больший коэффициент корреляции между исследуемой величиной и фактором;

– расчет стандартизованных коэффициентов множественной регрессии;

– ранжирование факторов. Ранжирование проводится по сумме двух подкритериев – парного коэффициента корреляции между фактором и исследуемой величиной и величины стандартизованного коэффициента уравнения множественной регрессии;

– обоснование многофакторной модели оптимальной сложности. При наличии большого количества факторов необходимо в модель включать не все факторы сразу, а постепенно увеличивая их от одного до m . Критериями определения оптимальности сформированной модели выступают два критерия: совокупный коэффициент корреляции и остаточная дисперсия линии регрессии.

Полученные по многофакторным корреляционно-регрессионным моделям прогнозные величины рабочих парков грузовых вагонов позволят выработать первоочередные меры по оздоровлению подвижного состава, усилению вагоноремонтной базы и оптимизации перевозочного процесса, рационально использовать имеющиеся ресурсы на обновление парка вагонов и обеспечение его инфраструктурой, снизить эксплуатационные расходы на его обслуживание и ремонт.

УДК 629.44

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПОР КРЕПЛЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНАХ И ИХ КОНСТРУКТИВНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

А. Д. ЖЕЛЕЗНЯКОВ, С. М. ВАСИЛЬЕВ, Л. П. ЦЕЛКОВИКОВА

Белорусский государственный университет транспорта

Основная задача защиты длинномерных грузов от динамических воздействий при перевозке состоит в снижении уровня ударных нагрузок, передаваемых грузу в процессе сортировочной работы. Продольные силы, испытываемые вагоном и грузом, а соответственно, и убытки от повреждений достигают своих наибольших величин при соударениях. Уменьшение ударных сил, передаваемых грузу, непосредственно связано с уменьшением динамических воздействий на опорные платформы сцепа. Решение задачи определения величин продольных сил, действующих на грузы сил и ускорений требует исследования механических систем, включающих в себя вагоны или сцепы вагонов с грузом и взаимодействующие с ними другие единицы подвижного состава, что требует создания сложных динамических характеристик подвижных опор груза.

Перевозка грузов, которые по своим габаритам и массе не могут быть размещены в одном вагоне, а перевозятся на сцепах двух и трех вагонов, связана с трудностями, которые вызываются взаимодействием груза одновременно с двумя вагонами сцепа. При этом необходимо осуществлять тележки вагонов, обеспечивающее безопасность движения и равномерную передачу нагрузки на плоскости при прохождении сцепом кривых участков пути и в вертикальной плоскости при прохождении переломов профиля пути и горба сортировочной горки, а также продольную податливость хотя бы одной из опор для компенсации относительных перемещений вагонов сцепа при изменении тяговых и тормозных усилий, передаваемых через автосцепки.

Традиционные схемы крепления груза на подвижном составе предусматривают связь груза с опорным вагоном, соизмеримую по своей жесткости с жесткостью межвагонных связей и жесткостью кузова вагона в продольном направлении. Если длинномерный груз опирается на два вагона сцепа, такая связь реализуется на одном из опорных вагонов. Общим недостатком таких схем крепления является увеличение ударной массы вагона. Недостатки подобных схем особенно проявляются при размещении груза на сцепе вагонов. При соударениях продольная нагрузка в этом случае воспринимается практически только одним вагоном.

Необходимость снижения уровня динамических воздействий на длинномерный груз и опорные платформы сцепа при ударном взаимодействии с другими единицами подвижного состава привело к созданию так называемых подвижных ОКУ и ТКУ. Использование таких устройств позволяет выполнять обе опоры длинномерного груза на вагоны подвижно-центрируемыми, допускающими значительный сдвиг груза относительно опорных вагонов в продольном направлении при ударе и обеспечивающими его возвращение после удара в исходное положение. Подвижные ОКУ и ТКУ позволяют увеличить число подвижных связей, способных поглощать кинетическую энергию движущихся масс при быстром изменении скоростей их относительных перемещений, перераспределять продольную ударную нагрузку между двумя опорами, повысить эффективность поглощения кинетической энергии без увеличения сил взаимодействия между отдельными массами участвующей в ударе механической системы.

В настоящее время международная практика подтверждает перспективность применения гравитационных длинноходовых опор, в которых продольные перемещения груза из среднего положения относительно опорных вагонов сцепа сопровождаются кинематически обусловленным повышением его центра тяжести, в результате чего часть кинетической энергии удара переходит в потенциальную энергию груза, обеспечивающую последующее восстановление первоначального взаиморасположения опорных вагонов и груза после удара. Такой переход осуществляется на достаточно большом пути относительных перемещений, что позволяет уменьшить силы взаимодействия между длинномерным грузом и опорными платформами сцепа.

Продольно-подвижные гравитационные опоры можно рассматривать в качестве упруго-фрикционных или упруговязких связей. Неконсервативная составляющая такой связи обеспечивает гашение энергии удара, что позволяет стабилизировать процесс центрирования опоры.

Для клиновых устройств наименьшее допустимое значение угла наклона опорных поверхностей может быть определено из выражения $tg\alpha \geq K\mu$, где K – коэффициент запаса, учитывающий изменения коэффициента трения μ в эксплуатационных условиях. Для стальных поверхностей величина μ составляет 0,45 ... 0,55. Авторами предложены устройства, позволяющие управлять снижением этой величины. Так, «Турникет для закрепления длинномерных грузов на транспортном средстве» (а. с. № 1299860), содержит между взаимодействующими наклонными поверхностями упругодеформируемое тело качения, которое при относительном перемещении поверхностей уменьшает нормальную реакцию их взаимодействия. Сила трения регулируется жесткостью тела качения и его деформацией. В «Опоре для транспортировки длинномерных грузов» (а. с. № 1772016) при относительном перемещении наклонных элементов деформируются упругие пакеты, выделяя в зону контакта смазку. «Устройство для крепления длинномерных грузов на транспортном средстве» (патент № 1586) предполагает перекачивание нижнего элемента наклонной пары по вогнутой поверхности. Выбор формы этой поверхности позволяет принять рациональный угол взаимодействия наклонных поверхностей.

Катковые устройства имеют тела качения, размещенные между вогнутыми опорными поверхностями. Дополнительное фрикционное трение может быть получено при взаимодействии торцевых башмаков с продольными направляющими. Сила трения в опоре приближенно может быть определена по формуле $F_{\phi} = 5/6\mu T$, где μ – коэффициент трения между фрикционным башмаком и направляющей, T – сила прижатия башмака пружиной к направляющей. Регулирование величины T может быть выполнено подбором характеристики распорного упругого элемента и формой направляющих в плане. Предложены устройства по а. с. № 958174, 1238996, 1238997, 1245462, 1772015.

Упруго-вязкую связь предлагается реализовать в устройствах по а. с. № 1017542, 1495172, 1556965 и патенту РБ № 1882. Так, в «Устройстве для крепления длинномерного груза на транспортном средстве» по а. с. № 1495172 тело качения снабжено расположенными в кольцевых пазах оболочками, заполненными вязкой жидкостью. При перекачивании тела качения по опорным по-

верхностям жидкость продавливается через уменьшенное сечение оболочки за счет ее сминания. Гидравлическое сопротивление движению жидкости обуславливает вязкое сопротивление. Величина такого сопротивления составляет $F_B = \dot{\Delta}RV\sqrt{mc}$, где $\dot{\Delta}$ – относительная скорость верхней и нижней опорных поверхностей, R – радиус тела качения, m – масса груза, C – продольная жесткость опоры.

При моделировании соударения продольная реакция опоры представляется в виде суммы консервативной и неконсервативной составляющих. В дискретной постановке интегрируем ОДУ математической модели движения механической системы.

УДК 629.44

ОЦЕНКА ПРОДОЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ДЛИННОМЕРНЫЙ ГРУЗ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НА СЦЕПЕ ВАГОНОВ

А. Д. ЖЕЛЕЗНЯКОВ, С. М. ВАСИЛЬЕВ, Л. П. ЦЕЛКОВИКОВА
Белорусский государственный университет транспорта

Теоретические исследования по оценке повреждаемости длинномерных грузов, перевозимых на сцепе железнодорожных платформ, при соударениях сцепы с другими единицами подвижного состава, включают в себя математическое моделирование условий силового взаимодействия груза с опорными платформами и выполнение численных расчетов при интегрировании систем дифференциальных уравнений движения рассматриваемой механической системы при варьировании различных параметров этой системы и начальных условий соударения. В таких исследованиях обычно используются методы теории колебаний механических систем с конечным числом степеней свободы, в соответствии с которыми рассматриваемая система представляется в виде ограниченного числа твердых тел, взаимодействующих друг с другом в продольных направлениях с помощью различных видов деформируемых связей. Твердыми телами в рассматриваемом случае считаются груз, опорные платформы и другие единицы подвижного состава, участвующие в соударении, к связям относят подвижные опорно-крепежные устройства (ОКУ), турникетно-крепежные устройства (ТКУ) и автосцепные устройства вагонов. При этом следует иметь в виду, что подобный подход в задачах на соударение, характеризующихся быстрым изменением нагрузок, является приближенным, что может оказать заметное влияние на количественную точность результатов расчета. Качественная оценка работоспособности подобных устройств при этом может быть признана достаточно адекватной.

В реальных условиях эксплуатации возможны самые разнообразные варианты соударения сцепы с другими единицами подвижного состава, различающиеся составностью самого сцепы, его расположением в группах соударяющихся вагонов, числом вагонов в каждой группе, их параметрами, степенью сжатия поглощающих аппаратов в начальный момент соударения. Для выбора и оптимизации параметров ОКУ и ТКУ, а также для их объективной оценки необходимо принять некоторый обобщенный расчетный случай соударения, наиболее характерный для эксплуатационных условий и в то же время неблагоприятный с точки зрения величины динамических воздействий на перевозимый длинномерный груз. Наиболее распространенным способом перевозки длинномерных грузов является их транспортировка на сцепе из двух опорных платформ, оборудованных устройствами крепления. Этот способ более неблагоприятен по сравнению с вариантом перевозки на одном вагоне вследствие перемещений опорных платформ относительно друг друга, что приводит к усложнению картины нагружения опор. Случаи перевозки груза на трех платформах встречаются достаточно редко, и с точки зрения формирования продольных нагрузок при соударениях сцепы существенных отличий от варианта двухвагонного сцепы не имеют. В связи с этим при определении параметров опор груза целесообразно рассматривать трехмассовую механическую систему (груз – опорные платформы), располагая его в голове одной из соударяющихся групп вагонов. Силы сопротивления абсолютным перемещениям неподвижной группы вагонов, если эти вагоны заторможены, зазоры в их автосцепках выбраны, поглощающие аппараты «закрыты», существенно увеличивают нагрузки