

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

на перевозимый груз в том случае, когда сцеп находится в группе набегающих вагонов, и уменьшают их при расположении сцепа в неподвижной группе. Таким образом, целесообразно рассматривать как наиболее неблагоприятный вариант соударения, когда сцеп набегает на неподвижную преграду, образованную группой заторможенных, груженых и сжатых вагонов. Пренебрежение по датливостью такой преграды идет в запас надежности расчетов по определению динамических нагрузок, действующих на опорные вагоны и длинномерный груз.

В качестве основных критериев для сравнительной оценки степени повреждаемости длинномерного груза, перевозимого на сцепе платформ, в результате его соударения с другими единицами подвижного состава в общем случае могут быть приняты величины: наибольшего значения продольной силы, передающейся грузу в процессе соударения наиболее нагруженной опорой $N_{(1,2)\max}$ и наибольшего значения силы инерции, воспринимаемой обеими опорами $(N_1 + N_2)_{\max}$. Достаточно обоснованно будет полагать, что первая из этих величин оказывает влияние на прочность длинномерного груза в зонах опор на вагоны, вторая – на его общую прочность и напряженное состояние в зонах, удаленных от опор. Практическое использование названных взаимонезависимых критериев может привести к противоречивым оценкам степени повреждаемости длинномерного груза, что затруднит сравнение эффективности опорных устройств различных видов и оптимизацию их параметров. Принимая допущение о равноценности влияния указанных критериев на повреждаемость груза, в качестве некоего единого обобщенного критерия, характеризующего уровень продольных динамических нагрузок, сообщаемых длинномерному грузу в процессе соударения сцепа при заданных условиях, и оценивающего степень его повреждения, целесообразно использовать величину приведенной силы удара:

$$N_{\text{пр}} = N_{(1,2)\max} + \frac{1}{2}(N_1 + N_2)_{\max},$$

где N_1 и N_2 – продольные усилия, передаваемые длинномерному грузу первым и вторым крепежными устройствами соответственно по ходу движения сцепа в один и тот же момент времени процесса.

Теоретические и экспериментальные исследования, а также многовариантные расчеты показали, что максимальные ударные нагрузки мало зависят от числа вагонов в набегающей группе. Наибольшее значение приведенной силы удара возникает при подпоре сцепа одним или двумя полностью загруженными вагонами, причем увеличение приведенной силы удара по сравнению с вариантом одиночного сцепа не превышает 5–10 %. В связи с этим, а также учитывая, что набегание одиночного сцепа на группу неподвижных вагонов при сортировочной работе на станциях представляется как наиболее распространенный случай, выбор и оптимизацию параметров ОКУ и ТКУ целесообразно производить для этого случая. Тогда расчетная схема соударения может быть принята в виде трехмассовой механической системы (длинномерный груз – подвижные опоры – опорные платформы), набегающей на неподвижную преграду с некоторой начальной скоростью соударения. Скорость соударения представляет собой начальное условие задачи Коши интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

Более точная и адекватная модель может быть получена при рассмотрении упора в виде группы вагонов. Однако в этом случае значительно возрастает число степеней механической системы. Следует также учитывать, что межвагонные связи имеют значительную нелинейность. Это связано с наличием зазоров в автосцепных устройствах, возможностью «закрытия» поглощающих аппаратов, нелинейностью динамических характеристик поглощающих аппаратов и зависимостью их от начальной скорости соударения. В связи с этим было рассмотрено восемь расчетных вариантов (неподвижная преграда; 1, ..., 7 вагонов). Идентичность по величине приведенной силы достигается в том случае, когда рассматриваются соударения с упором, состоящим из трех заторможенных вагонов (дальнейшее увеличение их числа дает незначительные изменения), и соударения с одиночным груженым вагоном без упора, если расчетное значение массы этого вагона принять увеличенным в 1,6 ... 1,8 раза.