

Динамическая модель сцепного устройства БСУ-3 аналогично автосцепному устройству СА-3 представляет собой систему абсолютно твердых тел, соединенных вращательными шарнирами и контактными элементами, смоделированными по методике, описанной выше. Дополнительно с помощью специальных упругих и контактных силовых элементов моделировалось взаимодействие хвостовика сцепного устройства с подпружиненной центрирующей балочкой с храповым механизмом.

Разработанная модель сцепного устройства БСУ-3 описывает его работу только в сцепленном состоянии и не рассматривает сам процесс сцепления.

В работе рассматривались три варианта сцепа вагонов: сцеп, полностью оборудованный автосцепными устройствами СА-3; сцеп, в котором локомотив и первая сцепка первого вагона оборудованы устройством СА-3, а остальные беззазорными устройствами БСУ-3; сцеп, аналогичный предыдущему, но при отсутствии буферных устройств в соединениях, оборудованных устройствами БСУ-3.

При движении сцепа тяговое усилие моделировалось с помощью специальных сил в соответствии с тяговыми характеристиками локомотива ЧС-7. Силы сопротивления движению локомотиву и вагонам учитывались в соответствии с рекомендациями нормативных документов на проведение тяговых расчетов.

Рассматривалось движение сцепов по реальным неровностям пути в прямых и кривых участках и по стрелочным переводам со скоростями в диапазоне 20–200 км/ч, а также троганье с места, движение на подъем и экстренное торможение.

В качестве критериев оценки динамических показателей вагона рассматривались вертикальные и горизонтальные ускорения кузова и рамы тележки вагона, силы взаимодействия гребня колеса с рельсами, рамные силы, коэффициенты плавности хода, мощности сил трения в контакте колеса и рельса и усилия взаимодействия вагонов в сцепе, угловые перемещения кузова в плане. Определение динамических параметров проводилось для трех вариантов сцепов, описанных выше.

Анализируя результаты сопоставления динамических параметров вагона, оборудованного беззазорным сцепным устройством БСУ-3, можно сделать выводы, что замена автосцепного устройства СА-3 на сцепное устройство БСУ при сохранении буферных устройств не оказывает значительного влияния на динамические параметры вагона, разница не превышает 2 %. В тоже время отказ от буферных устройств при сохранении сцепного устройства БСУ-3 приводит к увеличению сил отжатия рельса в кривых участках пути и стрелочных переводах на 11–14 %, мощности сил трения по гребню колеса в кривых участках пути увеличиваются на 12–14 %, снижается коэффициент безопасности от вкатывания колеса на рельс в кривых участках пути на 13 %.

Анализ продольных усилий, возникающих в сцепных устройствах, показал, что наибольшие усилия наблюдаются при экстренном торможении сцепа. Установка сцепного устройства БСУ-3 в совокупности с буферными устройствами позволяют снизить продольные усилия на 5–8 %, отказ от буферных устройств при сцепном устройстве БСУ-3 приводит к росту продольных усилий на 11–18 %.

Возможность прохождения сцепом из четырех вагонов переходных кривых малого радиуса доказывает, что величины принятых критериев не превышают допустимого уровня.

Причины ухудшения динамических параметров вагона при установке беззазорного сцепного устройства БСУ-3 без буферных устройств свидетельствуют, что ухудшение параметров связано с интенсификацией колебаний влияния кузова вагона при выходе из кривых участков пути и после прохождения стрелочного перевода.

УДК 629.42

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТЕЙ СОУДАРЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ КУЗОВОВ

В. В. КОБИЩАНОВ, Д. Ю. РАСИН

Брянский государственный технический университет, Российская Федерация

В руководящей документации по методам испытаний грузовых и пассажирских вагонов на прочность и ходовые качества даются рекомендации производить испытания на действие сверхнормативных (аварийных) ударных нагрузок, возникающих при соударении опытного вагона с набегающим вагоном-бойком, для следующих групп скоростей соударения: 10–13, 13–16, 18–20 км/ч при обоснованной необходимости 20–25 км/ч.

Экспериментальные исследования на соударение на максимальных скоростях производятся редко, поскольку требуют значительных экономических затрат. Однако потребность в анализе поведения вагона в аварийных ситуациях остается. Приемлемой альтернативой для подобных исследований является математическое моделирование.

При разработке методики анализа была рассмотрена неблагоприятная ситуация развития аварийной обстановки, называемой «подскоком вагона при соударении». Это явление заключается в подъеме консольной части вагона при соударении за счет разности уровня осей автосцепок и центра тяжести кузова и обуславливается сжатием рессорного комплекта тележки, ближней к удару, и распрямлением комплекта второй тележки.

Аналогичная картина происходит и с соседним вагоном, в результате чего возникает ситуация, когда приподнятая концевая часть кузова одного вагона накатывается на пониженную часть соседнего. При этом разность высот уровней автосцепок может быть довольно значительной, что приведет к саморасцепу и эффекту наскока кузова на кузов. В связи с этим в Нормы включены рекомендации производить расчет противоударных стоек торцевых стен кузовов пассажирских вагонов от действия сосредоточенных усилий на высоте 0,5 м от нижней опоры.

Разработана динамическая упруго-пластическая конечноэлементная модель взаимодействия вагонов при аварийном соударении. Модель представляет собой упругую концевую часть кузова вагона-упора, повернутую на соответствующий угол и жестко закрепленную в пространстве по плоскости сечения, и упругий кузов накатываемого вагона (вагона-бойка). Величина концевой части кузова вагона-упора принята больше ожидаемой зоны деформации. Моделирование полного кузова в данном случае нецелесообразно, поскольку практически не повлияет на результаты, но в значительной степени увеличит затраты машинного времени, а также приведет к неоправданному увеличению объема выходных данных, что впоследствии осложнит обработку результатов. Так как расчетный период времени соударения очень мал, то за это время возникшие во время соударения усилия не вызовут значительных смещений кузовов вагонов от первоначального взаиморасположения. Этим объясняется применение жесткого закрепления концевой части вагона-упора.

Все несущие элементы конструкции кузовов вагонов моделировались трех- и четырехугольными пластинчатыми элементами. Двухслойная обшивка боковых стен выполнена посредством моделирования зоны прилегания гофрированной и гладкой обшивок пластинчатыми элементами суммарной толщины. Для упрощения расчетной схемы гофрированная обшивка крыши и средней части пола моделировались двумерными ортотропными конечными элементами, имеющими приведенную толщину и обладающими линейной жесткостью в обоих направлениях. Общее число элементов расчетной схемы составило 126300, число степеней свободы схемы МКЭ – $66,5 \times 10^4$.

Для более адекватного описания распределения масс в модели отдельно были смоделированы тележки и элементы тяжеловесного внутреннего и навесного оборудования. В расчетной схеме они представлены объемными конечными элементами с массой, распределенной равномерно по объему.

Пластичная модель материала металлоконструкции кузова вагона задается кривой зависимости уровня напряжений от величины деформаций.

На модель вагона-бойка в зонах скользунгов наложены связи, ограничивающие перемещение только в вертикальном направлении. Каждому узлу расчетной схемы вагона-бойка придается начальная скорость, направленная вдоль оси вагона в сторону упора.

Для обеспечения в конечноэлементной модели возможности взаимодействия элементов учтены контактные взаимодействия, реализованные в специализированном программном комплексе.

Рассматривается взаимоположение вагона-упора и вагона-бойка в момент времени, когда расцепление автосцепок произошло, голова автосцепки вошла в дверной проем, тарели буферных устройств вагона-упора готовы вступить в контакт с вагоном-бойком, в связи с чем расчетная схема была дополнена моделью буферных устройств.

Произведены расчеты соударений на скоростях 20 и 25 км/ч. Получены графики изменения во времени скоростей узлов и кинетической энергии, ускорений на навесном и внутреннем оборудовании.

Сопоставление результатов расчета для рассмотренных случаев соударения показало, что время соударения практически не изменилось. Скорость узлов модели набегающего вагона снижается от максимального значения до нуля приблизительно за 0,22 с. Полное поглощение энергии соударения за равные промежутки времени говорит о более интенсивном процессе пластической деформации металлоконструкции для большей скорости. Пиковые значения ускорений на тяжелом оборудовании при увеличении скорости соударения соответственно возросли на 30 %.

Предлагаемая методика позволяет моделировать повреждения несущей конструкции кузова пассажирского вагона при продольных соударениях и анализировать безопасность.