

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОСЦЕПКИ НА ПРОДОЛЬНЫЕ СИЛЫ В ГРУЗОВОМ ПОЕЗДЕ

П. А. САХАРОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Общей тенденцией грузоперевозок на железнодорожном транспорте является формирование составов большой длины и массы, направленное на экономию топливно-энергетических ресурсов. Однако при ведении таких поездов между вагонами возникают большие продольные силы, отрицательно влияющие на устойчивость движения. Для обеспечения безопасности необходимо, чтобы эти силы не превышали допустимых значений и по возможности были минимальны. Решение данных задач требует обоснованного управления движением поезда и формирования составов. Большое влияние на величину продольных сил оказывают характеристики автосцепных устройств вагонов, в частности силовые характеристики поглощающих аппаратов и зазоры в упряжи. Сравнение значений продольных сил на неустановившихся режимах движения при различных параметрах межвагонных связей позволит выработать рекомендации, направленные на повышение безопасности движения грузовых поездов.

Для решения поставленной задачи составлено математическое описание движения поезда, на основании которого разработана компьютерная модель в программе MSC.ADAMS. Ее описание и идентификация работы рассмотрены в [1]. Модель поезда представляет собой цепочку абсолютно твердых тел – вагонов, движущихся прямолинейно без вертикальных колебаний и угловых перемещений. Модель автосцепных устройств, учитывающих зазоры, определяется выражением

$$T = \begin{cases} \left(C_n \left| q - \frac{\delta}{2} \right|^{n_n} + T_{0n} \right) \operatorname{sgn}(\dot{q}), & q \in \left[-h - \frac{\delta}{2}; -\frac{\delta}{2} \right) \cup \left(\frac{\delta}{2}; h + \frac{\delta}{2} \right], \text{ если } q\dot{q} \geq 0; \\ 0, & q \in \left[-\frac{\delta}{2}; \frac{\delta}{2} \right]; \\ \left(C_p \left| q - \frac{\delta}{2} \right|^{n_p} + T_{0p} \right) \operatorname{sgn}(\dot{q}), & q \in \left(-h - \frac{\delta}{2}; -\frac{\delta}{2} \right) \cup \left(\frac{\delta}{2}; h + \frac{\delta}{2} \right), \text{ если } q\dot{q} < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где C_n, C_p – коэффициенты жесткости аппарата при нагрузке и разгрузке соответственно, Н/м; q – сжатие поглощающих аппаратов, м; \dot{q} – скорость сжатия аппарата, м/с; n_n, n_p – показатели степени при нагрузке и разгрузке; T_{0n}, T_{0p} – сила начальной затяжки поглощающего аппарата при нагрузке и разгрузке, Н; h – максимальный ход поглощающих аппаратов межвагонного соединения, м; δ – суммарный зазор в автосцепках, м.

Для исследования влияния зазоров в автосцепных устройствах на величину продольных сил в поезде принята силовая характеристика поглощающих аппаратов, определяемая в соответствии с выражением (1) при $n_n = n_p = 2$, одинаковая для всех вагонов. Максимальная энергоемкость и суммарный конструкционный ход поглощающих аппаратов каждого межвагонного соединения приняты 180 кДж и 180 мм соответственно. Значения характеристик подобраны так, чтобы сила закрытия составляла 2600 кН, а коэффициент необратимого поглощения энергии при динамическом нагружении – 0,73. Все основные параметры работы поглощающих аппаратов соответствуют требованиям [2]. В расчетах рассмотрено движение однородного состава из 100 груженых вагонов общей массой 7000 т по прямому горизонтальному участку пути при зазорах в упряжи от 20 до 80 мм.

Моделирование трогания поезда с места показало, что при резком изменении силы тяги в сжатом составе с зазорами в автосцепках 40–80 мм распространяется волна ударов, амплитуда которых увеличивается с ростом зазоров. При этом максимальные силы возникают в межвагонных соединениях 40–50 вагонов, и превышают приложенную внешнюю силу тяги более чем в 2 раза. Уменьшение зазоров до 20 мм приводит к значительному снижению максимальных сил, превышающих силу тяги в этом случае не более чем на 40 %. При плавном трогании с места продольные силы невелики

и превышают силу тяги на 11 % только при зазорах 80 мм. Увеличение зазоров в этом случае приводит к росту ударных сил в хвостовой части состава.

Проведены расчеты для случая электродинамического торможения растянутого поезда на прямом горизонтальном участке пути при начальной скорости 80 км/ч. Результаты показали, что при зазорах в автосцепках 20 мм и резком торможении продольные силы превышают тормозную силу не более чем на 10 %. С ростом зазоров в первой половине состава возникает волна ударов, амплитуда и длительность которых увеличивается. В этом случае максимальные силы превышают тормозную более чем на 30, 80, 110 % при зазорах 40, 60, 80 мм соответственно. При плавном торможении ударные силы сохраняются, с той лишь разницей, что максимальные их значения в этом случае меньше и возникают в хвостовой части поезда.

Для оценки влияния вида силовой характеристики поглощающих аппаратов на величину максимальных продольных сил в поезде рассмотрено три вида их характеристик: жесткая, линейная, мягкая [2]. Для них линии разгрузки приняты одинаковыми, а линии нагрузки подобраны в соответствии с (1) таким образом, чтобы максимальная энергоемкость поглощающих аппаратов межвагонного соединения составляла 207 кДж. Максимальные значения хода аппаратов и коэффициента необратимого поглощения энергии равны 180 мм и 0,74 соответственно, силы начальной затяжки – $T_{0н} = 200$ кН, $T_{0р} = 50$ кН. Все параметры соответствуют классу поглощающего аппарата Т1 [2]. Следует отметить, что при прочих равных параметрах, при полном сжатии аппарата с жесткой характеристикой сила достигает 3 МН, для линейной – 2,1 МН, а для мягкой – 1,7 МН. Рассмотрено движение однородного грузового поезда с составом массой 8000 т (100 вагонов по 80 т) по прямому горизонтальному участку пути и зазорами в межвагонных соединениях 65 мм.

Резкое увеличение силы тяги при трогании с места сжатого состава для всех вариантов межвагонных связей приводит к значительному росту сил ударного характера, превышающих силу тяги в два раза и более и возникающих в хвостовой части состава. Их максимальные значения проявляются в поглощающих аппаратах с жесткими характеристиками. При плавном увеличении силы тяги наибольшие ударные силы проявились в межвагонных связях с мягкими характеристиками. Они возникли в районе хвостовой части состава и превысили силу трогания на 60 %. В поезде с жесткими характеристиками максимальные силы носят упругий характер и распределены в первой половине состава. Для всех характеристик упругие силы превысили силу трогания на 15 %.

Моделирование электродинамического торможения рассмотрено для предварительно растянутого поезда, движущегося с начальной скоростью 30 км/ч. При резком приложении тормозного усилия наблюдается рост динамических сил, в 1,8–2 раза превышающих тормозную. Наибольшие из них возникают в межвагонных связях с жесткой силовой характеристикой. Плавное торможение приводит к возникновению ударных сил в межвагонных соединениях с мягкими характеристиками, наибольшие из которых превышают силу торможения на 30 %. Следует отметить, что мягкая характеристика при плавном увеличении внешнего воздействия способствует росту не только ударных сжимающих сил, но и растягивающих, возникающих при оттяжке в хвостовой части поезда.

На основании представленных результатов можно сделать вывод о наличии как положительных, так и отрицательных свойств у всех рассмотренных силовых характеристик поглощающих аппаратов автосцепных устройств. При резком приложении внешнего воздействия наименьшие продольные силы возникают в автосцепках, оборудованных поглощающими аппаратами с мягкими силовыми характеристиками, а наибольшие – с жесткими. При плавном изменении управляющего воздействия – наоборот. Во всех случаях жесткие характеристики способствуют развитию упругих продольных колебаний в поезде, а мягкие – их гашению. Наличие зазоров в автосцепках более 20 мм приводит к появлению значительных по амплитуде продольных сил ударного характера, увеличивающихся с ростом зазоров. В зависимости от характера воздействия их максимальные значения могут возникать в различных частях поезда. Полученные результаты могут быть использованы при выборе рациональных режимов ведения поездов и формировании железнодорожных составов.

Список литературы

1 Шимановский, А. О. Влияние зазоров в автосцепных устройствах на продольные силы в межвагонных соединениях однородного поезда / А. О. Шимановский, П. А. Сахаров // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – № 2 (47). – С. 42–50.

2 ГОСТ 32913–2014. Аппараты поглощающие сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Технические требования и правила приемки. – Введ. 01.06.2015. – М. : Стандартинформ, 2015. – 9 с.