

Повышение энергоемкости поглощающих аппаратов грузовых вагонов



В. А. Котурин, аспирант Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)

Обеспечение безопасности грузовых перевозок – одна из наиболее важных задач на железных дорогах стран СНГ и Балтии. За сохранность вагонов при соударениях в значительной степени отвечает поглощающий аппарат, поэтому в мае 2012 г. на межгосударственном уровне было принято решение об очередном ужесточении требований к поглощающим аппаратам на вагонах-цистернах, перевозящих опасные грузы. Повышение энергоемкости как новых, так и апробированных поглощающих аппаратов остается актуальным вопросом.

В эксплуатации достаточно часты отказы поглощающих аппаратов нового поколения – выбраковка эксплуатационными службами вагонов, оборудованных такими аппаратами, доходит до 40 % от их общего числа [1]. Из-за этих недостатков принятое на Комиссии Совета по железнодорожному транспорту «пространства 1520» решение об установке аппаратов класса не ниже Т2 на вагонах-цистернах, перевозящих опасные грузы, было отменено на очередном заседании Совета в 2013 г.

Планируемое развитие тяжеловесного движения заставляет искать пути совершенствования поглощающих аппаратов вагонов. В современных условиях на безопасность эксплуатации вагонов значительное влияние оказывают продольные силы, возникающие при маневровом соударении. Уровень этих сил зависит от характеристик поглощающих аппаратов автосцепки, в первую очередь – от их энергоемкости. Чем выше энергоемкость аппарата, тем большую часть кинетической энергии удара принимает на себя аппарат до момента его закрытия, следовательно, тем меньшая доля энергии приходится на раму вагона после закрытия аппарата.

Повышение энергоемкости аппарата теоретически возможно следующими способами:

- увеличением хода аппарата, что ограничивается его габаритными размерами;
- увеличением значения усилия начальной затяжки, что ограничивается необходимостью обеспечения «мягкой»

характеристики при движении в составе поезда;

- увеличением усилия закрытия через повышение как жесткости упругих элементов, так и сил трения; причем это ограничивается величиной допускаемого усилия в автосцепке, задаваемого Нормами [2];

- изменением формы линии сжатия силовой характеристики, вид которой зависит от типа аппарата.

Изменение формы силовой характеристики пружинно-фрикционного аппарата возможно только путем обеспечения её стабильности, приближения к статическому виду.

Форма силовой характеристики эластомерного поглощающего аппарата зависит от скорости соударения, так как в общее усилие вносит вклад и сила вязкого трения, которая зависит от скорости. Вследствие этого повышение энергоемкости эластомерных аппаратов через изменение формы характеристики может быть достигнуто также за счет увеличения сил вязкого трения.

Конкретным исследованиям были подвергнуты известные модели аппаратов: эластомерного – АПЭ-120-И, пружинно-фрикционного – ПМК-110-А.

Модернизация силовой характеристики эластомерного аппарата на примере модели АПЭ-120-И

В работе [3] была разработана математическая модель эластомерного поглощающего аппарата, которая имеет вид

$$R = R_{н.з.} + F_{упр.} \pm F_{с.тр.} \pm F_{в.тр.},$$

где $R_{н.з.}$ – величина усилия начальной затяжки; $F_{упр.} = cx$ – сила упругости, создаваемая объемным сжатием эластомера; c – жесткость; $F_{с.тр.}$ – сила сухого трения, обусловленная движением эластомера и трением его о стенки камер; $F_{в.тр.} = \beta v^2$ – сила вязкого трения, обусловленная сопротивлением протеканию эластомера через отверстия и зазоры между камерами; β – коэффициент вязкого трения; v – скорость деформации.

На основе данной математической модели были смоделированы три характерные схемы маневрового соударения: а) удар вагона в упор; б) удар в подпертый вагон и в) удар в свободно стоящий вагон. Были выполнены многовариантные расчеты, в которых варьировались жесткость и коэффициент вязкого трения аппарата:

$$\begin{cases} c_{мод} = k_c \cdot c; \\ \beta_{мод} = k_\beta \cdot \beta, \end{cases}$$

где $c_{мод}$ – значение жесткости модернизированного аппарата;

$\beta_{мод}$ – коэффициент вязкого трения модернизированного аппарата;

k_c – коэффициент увеличения жесткости;

k_β – коэффициент увеличения силы вязкого трения.

Итоговые параметры, принятые по результатам исследований всех схем маневрового соударения, сведены в таблицу. В качестве рекомендуемого варианта выбирался тот, при котором значение усилия закрытия становится равным допустимому значению 3 МН, в соответствии с Нормами.

Следует отметить, что хотя Нормы устанавливают значение 3,5 МН в качестве допустимого максимального продольного усилия в автосцепке, дополнения к Нормам устанавливают допустимое значение продольного усилия в 3 МН.

Предложенный вариант модернизированного аппарата АПЭ-120-И был подвергнут исследованиям при раз-

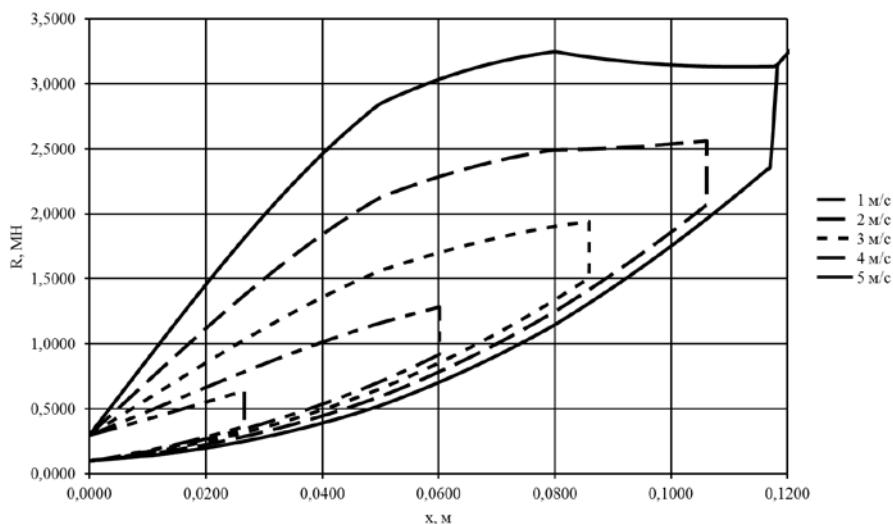


Рис. 1. Силовые характеристики модернизированного аппарата АПЭ-120-И

личных схемах и режимах маневрового соударения. Энергоемкость аппарата составила 0,215–0,295 МДж, что превышает энергоемкость прототипа аппарата на 27–77 %.

На рис. 1 приведены динамические силовые характеристики модернизированного эластомерного аппарата.

Проведенные исследования позволили определить следующие основные шаги по модернизации эластомерных аппаратов любых типов.

Увеличение усилия закрытия поглощающего аппарата по статической характеристике до максимально допустимого Нормами значения (в настоящее время – 3 МН) путем повышения жесткости силовой (статической) характеристики. Конкретные конструктивные изменения могут состоять в уменьшении общего объема камер сжатия рабочего тела.

Увеличение силы вязкого трения при протекании эластомера между камерами при наиболее «мягкой» схеме маневрового соударения (удар в свободно стоящий вагон). Критерием выбора служит достижение реакции максимального значения, утвержденного

Нормами» (3 МН). Увеличения коэффициента вязкого трения можно добиться уменьшением площади сечений, через которые эластомер перетекает между камерами.

Дальнейшее совершенствование аппарата возможно путем применения различных коэффициентов увеличения силы вязкого трения в процессе сжатия. Здесь следует стремиться к увеличению силы вязкого трения как в начальной стадии деформации аппарата (при высоких скоростях), так и в завершающей фазе деформации до закрытия аппарата. Целесообразно обеспечивать повышение силы вязкого трения так, чтобы значение реакции в момент закрытия приближалось к первому максимальному значению на кривой сжатия (если оно существует).

Модернизация силовой характеристики пружинно-фрикционного аппарата на примере модели ПМК-110-А

Модернизация статической силовой характеристики при фиксированном ходе сводится к повышению максимального усилия закрытия аппарата. Статическое усилие пружин-

Сводные результаты варьирования коэффициентов жесткости и вязкого трения при модернизации аппарата АПЭ-120-И

Параметр	Удар в упор	Удар в подпертый вагон	Удар в свободно стоящий вагон	Окончательный вариант
Коэффициент жесткости	2,140	2,140	2,174	2,140
Коэффициент вязкого трения	2,460	1,370	1,206	1,206
Скорость при закрытии аппарата, м/с	3,3	4,5	4,7	-
Максимальная реакция, МН	3,0	3,0	3,0	-
Энергоемкость, МДж	0,275	0,277	0,274	-

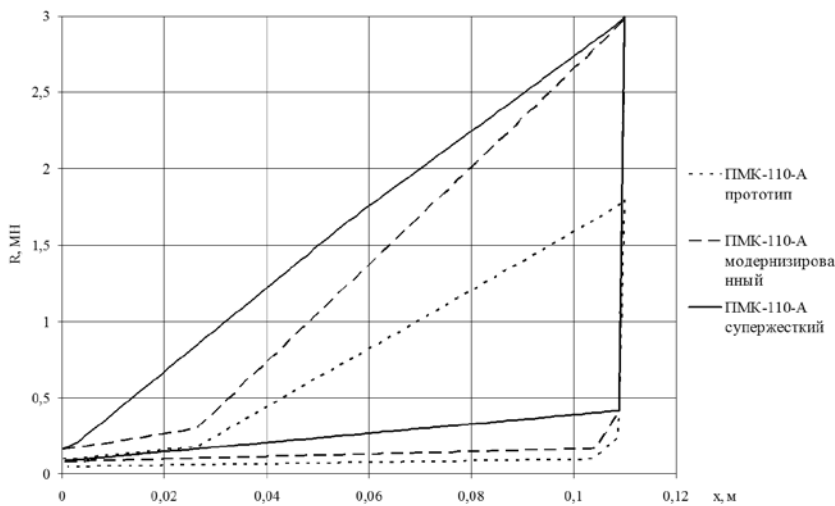


Рис. 2. Силовые характеристики модернизированных аппаратов ПМК-110-А

но-фрикционного поглощающего аппарата при прямом ходе вычисляется по формуле:

$$R = R_{н.з.} + F_{упр.} + F_{с.тр.}$$

где $R_{н.з.}$ – усилие начальной затяжки; $F_{упр.} = cx$ – сила упругости; c – жесткость; $F_{с.тр.}$ – сила сухого трения.

Следует отметить, что у модели аппарата ПМК-110-А по мере увеличения хода жесткость меняется: вначале работает пружина меньшей жесткости, что соответствует движению вагона в составе поезда, а затем в работу включается более жесткая пружина, что соответствует маневровому соударению.

При модернизации аппарата были исследованы варианты повышения жесткости в одинаковое число раз во всем диапазоне деформации аппарата.

По результатам многовариантных расчетов было принято рекомендуемое значение коэффициента повышения жесткости $k_c = 1,667$, при котором максимальное усилие достигает значения 3 МН, установленное Нормами. Данное значение будет справедливым при любых схемах маневрового соударения.

Дополнительно был исследован вариант модернизации с увеличением всей жесткости до единого значения во всем диапазоне деформации. При этом предлагается:

- отказаться от пружины малой жесткости;
- увеличить длину жесткой пружины для обеспечения хода 0,11 м;
- увеличить жесткость пружины до значения 26,21 МН/м для обеспечения усилия закрытия 3,0 МН;
- уменьшить начальную деформацию пружины до значения 6,3 мм,

обеспечивающего значение усилия начальной затяжки 0,1667 МН.

Далее были выполнены расчеты с учетом установки модернизированных аппаратов в сравнении с базовой моделью ПМК-110-А. На рис. 2 приведены силовые характеристики прототипа и модернизированных вариантов аппарата ПМК-110-А.

Результаты расчетов показали, что предлагаемая модернизация аппарата позволит повысить его энергоемкость в первом варианте на 66 %, во втором – на 107 %.

Безопасная скорость маневрового соударения может быть повышена в окончательном варианте на 7–21 %, в зависимости от схемы соударения.

В заключение можно констатировать, что изученные возможные варианты совершенствования поглощающих аппаратов позволяют существенно повысить их энергоемкость и обеспечить безопасность при соударениях при развитии тяжеловесного движения. ■

Литература

1. Ханцевич Д. Избежать деформаций // РЖД Партнер. 2013. № 19 (263). С. 58–59.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ – ВНИИЖТ. М., 1996.
3. Андриянов С. С. Нагруженность элементов специализированных вагонов, оборудованных амортизаторами повышенной энергоёмкости: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / МИИТ. М., 2006. 24 с.

Специализированное издание
о достижениях отечественной науки
и производства по всем видам транспорта

НАУКА и ТРАНСПОРТ

Целевая аудитория —
ведущие специалисты
транспортного комплекса
и смежных отраслей.

По вопросам подписки и размещения рекламы обращайтесь в редакцию:
190031, Санкт-Петербург, Московский пр. д.9, офис 8-149
Тел. (812)310-40-97 www.rostransport.com