

УДК 629.4.028; 62-754

М.Г. Войновский

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРА НА КОПРОВОЙ УСТАНОВКЕ ЭЛАСТОМЕРНОГО АМОРТИЗАТОРА УДАРА

Рассмотрено моделирование копровых испытаний как одного из видов стендовых испытаний. Предложена математическая модель копровых испытаний эластомерного поглощающего аппарата, работающего при ламинарном режиме перетекания жидкости. Получена силовая характеристика аппарата и установлено, что аппарат успевает восстанавливаться между повторными ударами.

Ключевые слова: поглощающий аппарат, эластомер, ламинарный режим, копровая установка.

В настоящее время особое внимание уделяется вопросам защиты подвижного состава от продольных нагрузок, возникающих при различных режимах эксплуатации (соударения вагонов при формировании поездов на сортировочных горках, во время маневров и при движении поезда). Железнодорожные вагоны и локомотивы для защиты конструкций машин и людей при продольных ударах оборудуются поглощающими аппаратами автосцепного устройства. Одновременно поглощающий аппарат сам является устройством, через которое передается тяговое и тормозное усилие от одной части состава к другой. Поэтому поглощающий аппарат не только амортизатор удара, но и устройство, которое должно уравновесить достаточно большие статические и квазистатические силы в поезде [1].

Существует множество проектов по совершенствованию конструкции используемых поглощающих аппаратов. Ограниченные габариты на подвижном составе уже не позволяют повышать энергоемкость амортизатора в существующих конструкциях, что приводит к созданию принципиально новых схем и материалов. Для вагонов, имеющих сложное оборудование и перевозящих оборонную технику, а также цистерн, транспортирующих сжиженный газ и другие опасные химические продукты, используются конструкции, где рабочим телом являются эластомерные материалы, отличающиеся значительной объемной сжимаемостью. Как правило, это высоковязкие полимеры на основе высокомолекулярного силикоанового каучука; при давлении порядка 500 МПа объемная сжимаемость таких материалов составляет 15...17 %.

Принципиальная схема эластомерного амортизатора представлена на рис. 1.

В цилиндре 1, заполненном эластомерной массой, перемещается шток 2 с поршнем 3.

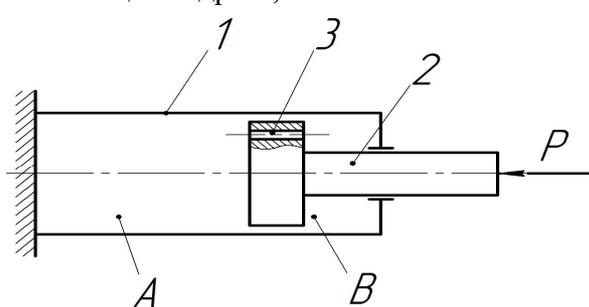


Рис. 1. Схема эластомерного аппарата

3. При медленном перемещении штока 2 часть эластомера из камеры A перетекает в камеру B через кольцевой зазор между цилиндром и поршнем, а также через отверстия в поршне. При этом сила  $P$  растет, поскольку при неизменном количестве эластомера общий объем камер уменьшается.

Определить эффективность работы амортизатора удара можно, используя как теоретические, так и экспериментальные исследования. Полученные результаты сравниваются, что позволяет надежно определить основные характеристики поглощающего аппарата. При разработке нового эластомерного поглощающего аппарата, а также при его сертифицировании обычно используют копровые испытания, как относительно простые и экономичные. Обычно копровые испытания регулируются методиками и стандартами на железнодорожном транспорте. Испытания

проводят на копровой установке с массой падающего груза 12,8 т при температурах  $20 \pm 5$  °С. Возможность математического моделирования работы поглощающего аппарата под копром позволяет рассмотреть различные варианты конструкции амортизатора, выбрав наиболее подходящие, и снизить стоимость разработки. При моделировании копровых испытаний следует учитывать, что жесткость поглощающего аппарата и данные о его показателях – энергоемкости, силовых характеристиках – могут существенно отличаться от показателей поглощающего аппарата в реальных условиях эксплуатации [1; 3].

Ударные испытания поглощающих аппаратов проводятся на вертикальных копровых установках. С высоты, не превышающей 2 м, на поглощающий аппарат падает свободный груз массой  $12,5 \pm 0,5$  т. Схема испытаний представлена на рис. 2.

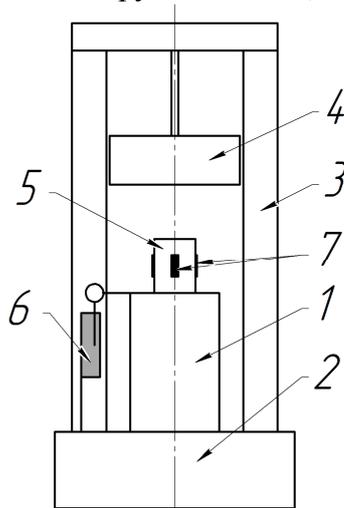


Рис. 2. Схема ударных испытаний на копровой установке амортизатора удара.

При моделировании поглощающего аппарата используются параметры ламинарной модели перетекания жидкости, идентифицированной с помощью аппарата ЭПА-110, разрабатываемого в Брянском государственном техническом университете. Для определения модуля упругости эластомера при относительно малых давлениях  $\bar{E}$ , эмпирического коэффициента  $\bar{a}$  и давлений в камерах сжатия ( $\bar{q}_c$ ) и расширения ( $\bar{q}_p$ ) при прямом и обратном ходе применяют следующие формулы:

$$\bar{E} = \begin{cases} E_{0\text{пр}}, & \text{если } \dot{x} \geq 0; \\ E_{0\text{об}}, & \text{если } \dot{x} < 0; \end{cases}$$

$$\bar{a} = \begin{cases} a_{\text{пр}}, & \text{если } \dot{x} \geq 0; \\ a_{\text{об}}, & \text{если } \dot{x} < 0; \end{cases}$$

$$\bar{q}_c = q_c [1 - 0,35\sigma_0(-\dot{x})];$$

$$\bar{q}_p = q_p [1 - 0,35\sigma_0(-\dot{x})],$$

где  $E_{0\text{пр}} = 1634$  МПа,  $a_{\text{пр}} = 8,48$  – при прямом ходе;  $E_{0\text{об}} = 687$  МПа,  $a_{\text{об}} = 14,48$  – при обратном ходе;  $\dot{x}$  – скорость движения штока;  $\sigma_0$  – единичная функция Хевисайда.

Дифференциальные уравнения, описывающие удар на копровой установке:

Поглощающий аппарат 1 устанавливается на наковальню копра 2 в кармане, обеспечивающем размещение поглощающего аппарата в габаритах, соответствующих его установочным размерам на подвижном составе. Строго вертикальное падение бойка 4 на цилиндр 5 обеспечивается направляющими 3 рамы. Ход и сила удара регистрируются датчиками 6 и 7.

Расчетная схема, описывающая удар на копровой установке, представлена на рис. 3. Здесь  $m$  – масса падающего груза,  $M$  – масса амортизатора удара и шабота копра;  $c$  и  $\alpha$  – упругодиссипативные характеристики опоры, определяемые по жесткому удару, без поглощающего аппарата;  $P_{\text{ан}}$  – сила сжатия

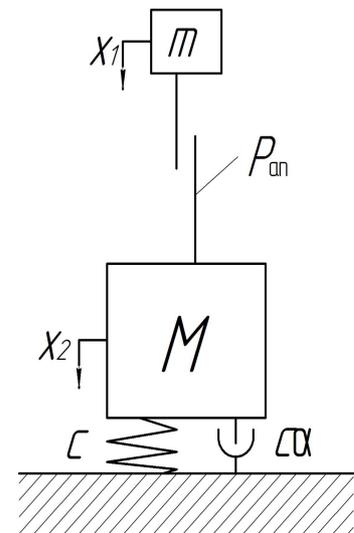


Рис. 3. Расчетная схема удара на копровой установке

$$\begin{cases} m\ddot{x}_1 + \bar{P}_{ан} = mg; \\ M\ddot{x}_2 - \bar{P}_{ан} + cx_2 + c\alpha\dot{x}_2 = Mg; \\ \frac{dq_c}{dt} = \frac{\bar{E} + \bar{a}q_c}{W_c - \Delta x S_c} \left[ \Delta\dot{x} S_c - \frac{\pi r a_0^3}{6 \rho l v} (\bar{q}_c - \bar{q}_p) \right]; \\ \frac{dq_p}{dt} = \frac{\bar{E} + \bar{a}q_p}{W_p - \Delta x S_p} \left( \frac{\pi r a_0^3}{6 \rho l v} (\bar{q}_c - \bar{q}_p) - \Delta\dot{x} S_c \right), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\bar{P}_{ан} = P_{ан} \sigma(x_1 - x_2)$ ;  $P_{ан} = \bar{q}_c S_c - \bar{q}_p S_p$ ;  $\Delta x = (x_1 - x_2) \sigma(x_1 - x_2)$ ;  $\dot{x} = \dot{x}_1 - \dot{x}_2$ ;  $\alpha$  – коэффициент демпфирования, равный 0,015с;  $c$  – жесткость пружины, равная 200 МН/м;  $M$  и  $m$  равны 200 и 12,8 т соответственно;  $W_c, W_p$  – объемы эластомера в камерах сжатия и расширения с учетом начальной закачки;  $S_c, S_p$  – площади камер сжатия и расширения;  $r$  – радиус поршня;  $l$  – длина поршня;  $v$  – кинематическая вязкость эластомера;  $\rho$  – плотность эластомера;  $a_0$  – радиальный зазор между плунжером и поршнем, который в первом приближении можно найти по формуле  $a_0 = \frac{f}{2\pi r}$ ;  $f$  – суммарная площадь истечения эластомера.

Для идентификации математической модели использовался поглощающий аппарат ЭПА–110 с параметрами:  $W_{сум} = 56,59 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ ;  $W_c = 51,19 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ ;  $W_p = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ ;  $S_c = 0,021 \text{ м}^2$ ;  $S_p = 0,018 \text{ м}^2$ ;  $\rho = 1060 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $f = 0,000249 \text{ м}^2$ ;  $r = 0,0825 \text{ м}$ ;  $a_0 = 4,73 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ ;  $l = 0,03 \text{ м}$ ;  $q_0 = 90,9 \text{ МПа}$  [2].

Начальные условия для решения системы (1): при  $t = 0 \rightarrow x_1 = x_2 = x_0$ ;  $\dot{x}_0 = \frac{Mg}{c}$ ;  $\dot{x}_1 = V_0; V_0 = \sqrt{2gH}; \dot{x}_2 = 0$ .

Результаты моделирования при падении груза с высоты 0,5 м приведены на рис. 4-7. На них хорошо видны затухающие удары падающего груза с последующей его остановкой на некотором расстоянии от нулевого значения хода.

По силовой характеристике, приведенной на рис. 8, видно, что при падении груза с высоты до 0,5 м максимальная сила и ход не превышают установленных значений. Также хорошо видно, что аппарат успевает восстановиться до нового соударения с грузом. Такой результат свидетельствует о том, что при поездной работе, особенно при торможении, аппарат будет успевать восстанавливаться между ударами.

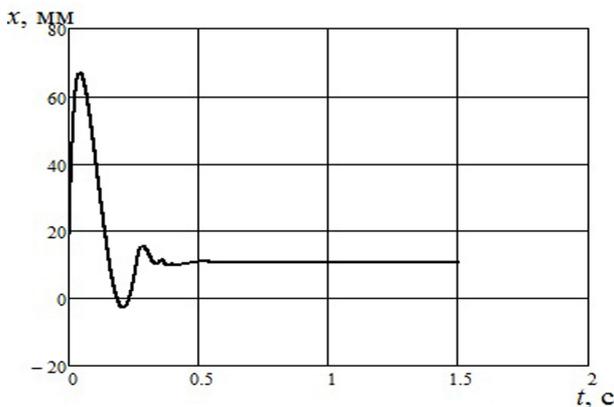


Рис. 4. Перемещение первой массы

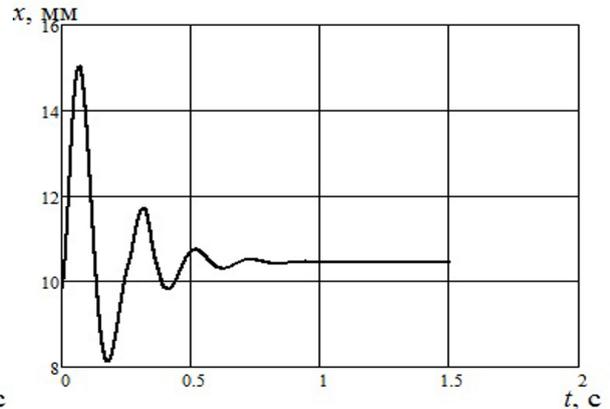


Рис. 5. Перемещение второй массы

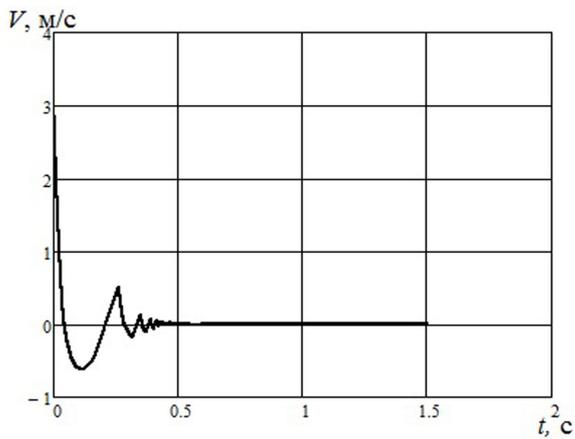


Рис. 6. Скорость первой массы

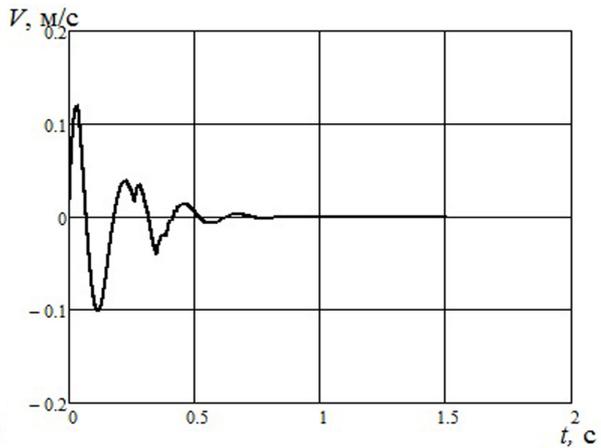


Рис. 7. Скорость второй массы

Согласно методике проведения ударных испытаний на копровой установке, груз падает с различной высоты. На рис. 9 приведена зависимость максимальной силы от высоты падения груза.

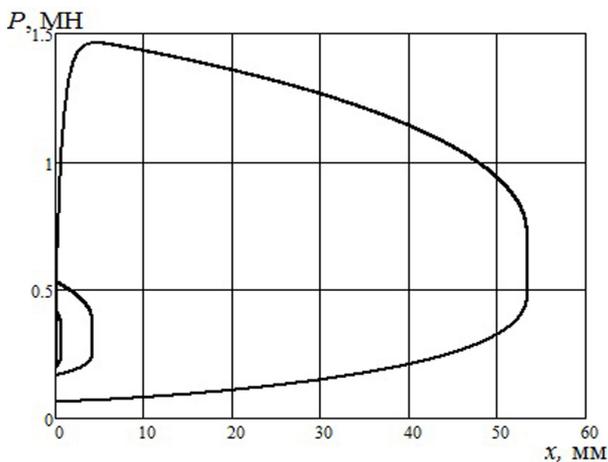


Рис. 8. Силовая характеристика аппарата ЭПА-110 при падении груза с высоты 0,5 м

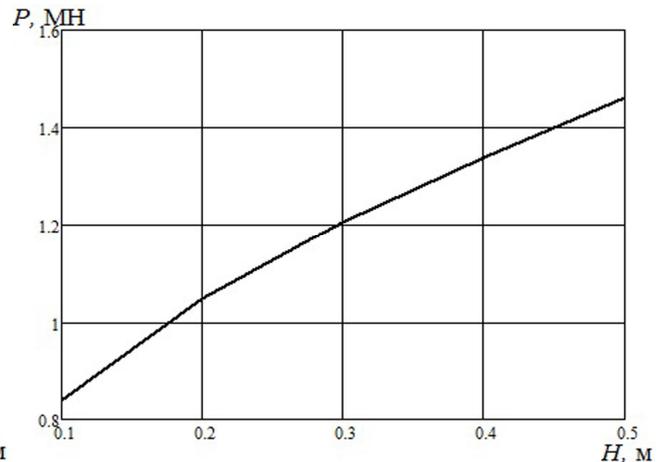


Рис. 9. Зависимость максимальной силы от высоты падения груза

Представленная на рис. 8 силовая характеристика аппарата хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными при ударе вагона в упор. Максимальная сила и ход не превышают допустимых значений. Изменение максимальной силы при изменении высоты падения груза происходит практически по линейной зависимости, что позволяет прогнозировать значение максимальной силы с малой погрешностью при различных высотах падения груза. Приведенные результаты показывают, что представленная на рис. 3 расчетная схема может описывать процесс ударных испытаний на копровой установке для поглощающих аппаратов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манашкин, Л.А. Гасители колебаний и амортизаторы ударов рельсовых экипажей (математические модели): монография / Л.А. Манашкин, С.В. Мямлин, В.И. Приходько. – Днепропетровск: Арт – Пресс, 2007. – 196 с.
2. Кеглин, Б.Г. Совершенствование математической модели эластомерного амортизатора удара / Б.Г. Кеглин, М.Г. Войновский // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2013. – №1. – С. 27–35.
3. Iwnicki, S. Handbook of Railway Vehicle Dynamics / S. Iwnicki. – Boca Raton, FL.: CRC Press Taylor & Francis Group, 2006. – 552p.

Материал поступил в редколлегию 22.09.14.