

Математическая модель эластомерного поглощающего аппарата



Сергей АНДРИЯНОВ

Sergey S. ANDRIYANOV

Mathematical Model of an Elastomeric Draft Gear
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 217)

При перевозке по железной дороге опасных жидких грузов возникает потребность не только в непосредственной защите людей и инфраструктуры, но и в предупреждающих мерах, которые касаются конструктивных, технических особенностей вагонов-цистерн. При этом повысить надежность и безопасность перевозочных средств, по версии автора, поможет расчетная модель для демфирующих устройств и, в частности, эластомерного поглощающего аппарата автосцепки.

Рассматривается вопрос обеспечения безопасности движения цистерн. Разработана математическая модель, описывающая работу эластомерного поглощающего аппарата. Данная модель представляет собой зависимость реакции аппарата от его деформации и скорости деформации, с учетом начальной затяжки аппарата и свойств рабочего тела. Она позволяет рассчитать ситуацию при любых вариантах маневрового соударения и переходных режимах движения поезда.

Ключевые слова: железная дорога, безопасность движения, цистерна, жидкие грузы, энергопоглощающие устройства вагона, эластомерный поглощающий аппарат, математическая модель.

Андрьянов Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Значительные объемы перевозок по железным дорогам нефти, нефтепродуктов, сжиженных газов, кислот, щелочей и подобных им продуктов определяют повышенные требования к конструкциям подвижного состава, транспортирующего жидкие грузы. Такого рода грузы перевозятся в цистернах и относятся к категории опасных. Цистерны должны удовлетворять условиям, обеспечивающим безопасность (в том числе экологическую) при эксплуатации на сети железных дорог. Тяжкие последствия ЧП заставляют конструкторов уделять особое внимание поведению вагонов в аварийных ситуациях, разрабатывать различные способы защиты. Создание новых, более совершенных конструкций вагонов-цистерн, обладающих при минимальной материалоемкости высокой несущей способностью и надежностью, обусловлено также и требованиями международных стандартов.

МОТИВАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ

Нагруженность элементов вагонов в небольшой степени зависит от частоты и уровня действующих на них продольных сил. В существующих условиях эксплуатации их величина определяется характеристиками поглощающих аппаратов автосцепки, а значения

возникают при маневровых соударениях и переходных режимах движения поезда. Во всех случаях видна взаимосвязь уровня продольных сил с безотказной работой автосцепки, тягового хомута и других элементов конструкции вагонов.

В отличие от других типов вагонов нагруженность элементов конструкций вагонцистерн при эксплуатационных воздействиях во многом зависит от поведения жидкого груза, имеющего свободную поверхность. Один из неизбежных факторов – эксплуатационные недолиты котлов цистерн, обусловленные специфическими свойствами грузов и техническими требованиями их транспортировки. Это приводит к движению жидкой среды и появлению дополнительных нагрузок на котел, узлы его крепления и другие несущие элементы конструкции. Кроме того, колебания жидкого груза в цистернах, находящихся в составе поезда, оказывают влияние на формирование динамических усилий в межвагонных соединениях в процессе движения.

В комплексе мероприятий, призванных нейтрализовать подобные явления, важное место занимает совершенствование демпфирующих устройств вагонов, в том числе поглощающих аппаратов автосцепного устройства.

ПАРАМЕТРЫ И РАСЧЕТЫ

Серийные пружинно-фрикционные поглощающие аппараты не в полной мере удовлетворяют условиям эксплуатации. К их недостаткам относятся нестабильность силовых характеристик, вероятность заклинивания, износы фрикционного узла, низкая энергоемкость в состоянии поставки и после приработки при номинальной силе срабатывания.

Поэтому одним из основных направлений инженерного поиска по снижению продольной нагруженности подвижного состава остается совершенствование энергопоглощающих устройств автосцепного оборудования. По совокупности экономических и технических показателей наиболее перспективной с точки зрения надежности и безопасности может считаться конструкция поглощающего аппарата с использованием в качестве рабочего тела объемно-сжимаемого высоковязкого полимера. Соответственно при ее создании или эксплуатации надо иметь эталонную расчетную модель, которая помогала бы ори-

ентировать защитные функции применяемых в вагоне-цистерне устройств.

Математическая модель эластомерного поглощающего аппарата должна отражать следующие особенности:

- наличие начальной затяжки;
- упругие свойства рабочего тела, не зависящие от скорости деформации;
- наличие сухого трения;
- наличие вязкого трения при течении рабочего тела, величина усилий при котором зависит от величины скорости деформации.

Составим математическую модель, описывающую работу поглощающего аппарата. Она призвана учитывать в том числе зависимость реакции аппарата от возможной деформации и ее скорости:

$$R_{mp} = R_0 + c x_a \pm F \pm \beta V^2, \quad (1)$$

где R_a – усилие в автосцепке, действующее на корпус аппарата;

- R_0 – величина усилия начальной затяжки;
- C – жесткость рабочего тела при сжатии;
- X_a – величина деформации аппарата;
- $F_{тр}$ – сила сухого трения;
- β – коэффициент вязкого трения;
- V_a – скорость деформации аппарата.

Каждое из слагаемых в выражении (1) аппроксимирует одно из свойств поведения рабочего тела, влияющих на работу эластомерного поглощающего аппарата. Знаки диссипативных сил зависят от направления и скорости деформации: при $V_a > 0$ (режим сжатия аппарата) силы трения положительны, при $V_a < 0$ (режим отдачи) – отрицательны.

Следует отметить, что коэффициенты C , β , $F_{тр}$ в формуле (1) являются в общем случае переменными величинами. Это связано, с одной стороны, с тем, что при работе аппарата изменяются объемы камер и проходные сечения отверстий, через которые притекает эластомер, а с другой – с тем, что свойства эластомера изменяются в процессе его деформирования.

На рис. 1 показаны примеры статической (сплошная линия) и динамической (штриховая линия) характеристик эластомерного аппарата. Они демонстрируют геометрический смысл составляющих реакции аппарата – членов выражения (1).

Параметры математической модели могут быть определены двумя путями: во-первых, исходя из свойств эластомера, во-вторых,



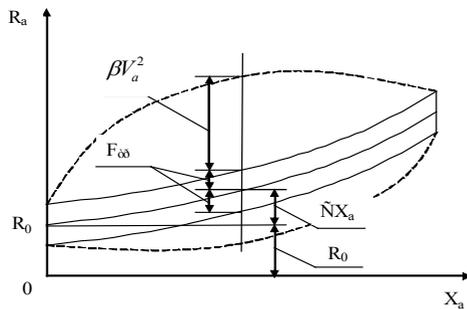


Рис. 1. Составляющие силовой характеристики эластомерного поглощающего аппарата.

формально, на основе экспериментальной силовой характеристики аппарата.

Связь параметров математической модели со свойствами эластомера и геометрическими характеристиками аппарата устанавливается при помощи следующих соотношений.

Жесткость аппарата выражается через модуль упругости рабочего тела:

$$C = \frac{S_a}{l_a} E, \quad (2)$$

где S_a — приведенная площадь рабочей камеры с эластомером;

l_a — начальная длина рабочей камеры;
 E — модуль упругости эластомера.

Коэффициент вязкого трения выражается через коэффициент гидравлического сопротивления при протекании эластомера через отверстия:

$$\beta = \frac{S_a^3}{S_1} \zeta, \quad (3)$$

где S_1 — приведенная площадь отверстий, через которые происходит истечение эластомера из рабочей камеры при сжатии аппарата;

ζ — коэффициент гидравлического сопротивления.

Сила сухого трения, как показывают реальные силовые характеристики эластомерных аппаратов, изменяется в процессе деформирования аппарата незначительно.

Соотношения (2) и (3) дают возможность выполнять и обратные преобразования, т. е. исходя из обобщенных параметров математической модели, установленных экспериментально, определять свойства эластомера.

ВЫВОДЫ

Зависимости жесткости, коэффициента сухого трения и коэффициентов вязкого трения от деформации аппарата позволяют моделировать работу эластомерного поглощающего аппарата при любых вариантах маневрового соударения.

Кроме того, на их основе можно определить свойства рабочего тела (эластомера) и за счет этого моделировать аппараты других моделей, использующих ту же марку эластомера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалько С. В. Разработка и анализ моделей повреждающих воздействий на котлы цистерн для перевозки криогенных продуктов / Дис... док. техн. наук. — М.: МИИТ, 2000. — 46 с.
2. Лукин В. В., Анисимов П. С., Федосеев Ю. П. Вагоны. Общий курс: учебник для вузов / Под ред. В. В. Лукина. — М.: Маршрут, 2004. — 422 с.
3. ОСТ 32.175-2001. Аппараты поглощающие автосцепного устройства грузовых вагонов и локомотивов. Общие технические требования. — 12 с.
4. Котуранов В. Н., Азовский А. П., Александров Е. В. и др. Вагоны. Основы конструирования и экспертизы технических решений: учебное пособие / Под ред. В. Н. Котуранова. — М.: Маршрут, 2005. — 490 с.
5. Артюх Г. В., Корчагин В. А., Иванов Е. И., Лаврищев Д. А. К вопросу усовершенствования эластомерных поглощающих аппаратов железнодорожных вагонов // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. пр. / ПДТУ. — Мариуполь, 2006. — № 9. — С. 145–147.
6. Болдырев А. П., Гуров А. М., Фатков Э. А. Характеристики перспективных поглощающих аппаратов при переходных режимах движения поезда // Железнодорожный транспорт. — 2007. — № 1. — С. 40–42.
7. Коломийченко В. В., Беляев В. И., Феоктистов И. Б. и др. Автосцепные устройства подвижного состава железных дорог. — М.: Транспорт, 2002. — 230 с.
8. Андриянов С. С. Нагруженность элементов специализированных вагонов, оборудованных амортизаторами повышенной энергоёмкости / Дис... канд. техн. наук. — М.: МИИТ, 2006. — 24 с.
9. Котуранов В. А. Повышение энергоёмкости поглощающих аппаратов грузовых вагонов // Транспорт Российской Федерации. — 2013. — № 5 (48). — С. 40–42. ●

Координаты автора: Андриянов С. С. — 6811935@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.10.2014, актуализирована 24.04.2015, принята к публикации 17.01.2015/28.04.2015.

Статья подготовлена на основе материалов, представленных авторами на Международной научно-практической конференции «Конструкция, динамика и прочность подвижного состава», посвященной 75-летию со дня рождения В. Д. Хусидова (МИИТ, 20–21 марта 2014 года).