

**Роганов М.Л., Роганов Л.Л., Грановский А.Е.**

## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА С ГИДРОУПРУГИМ МЕХАНИЗМОМ ДЛЯ ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ ГРУЗОВЫХ И ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ**

**Roganov M.L., Roganov L.L., Granovsky A.E.**

## **DEVELOPMENT OF DESIGN OF TEST STAND WITH HYDROELASTIC MECHANISM FOR CUSHIONS OF COACH AND FREIGHT CARS**

*Рассмотрены современные ударные стенды и определен общий недостаток для них – невозможность проведения статико-динамических испытаний на одном стенде. Представлена конструкция испытательного стенда, позволяющего проводить испытания в трех режимах. Предложена и испытана на модели подобного стенда, математическая модель стенда, позволяющая определить и уточнить рабочие характеристики подобных стендов. Экспериментальные данные подтвердили значения характеристик, которые были получены по приведенной математической модели. Сделаны выводы о расширении эксплуатационных и технологических возможностей ударных стендов данной конструкции по сравнению с другими стендами.*

**Ключевые слова:** ударный стенд, рабочая жидкость, ударный импульс, математическая модель, рабочие характеристики.

### **Введение**

Известные стенды позволяют испытывать изделия, в большинстве случаев, в каком-либо одном режиме: динамическом [1-3] или статическом. Хотя для оценки и проверки основных рабочих характеристик многие детали и узлы машин подвергаются как динамическим так и статическим испытаниям, к примеру, поглощающие аппараты грузовых и пассажирских вагонов, что в свою очередь усложняет и увеличивает стоимость проводимых испытаний, т.к. требуется дополнительное оборудование.

Возможность совмещения статических и динамических испытаний на одном оборудовании предоставляется использованием испытательного стенда на основе гидроупругого привода, который нашел свое применение в испытательной [4-6] и других отраслях техники [7, 8].

## **Цель**

Целью работы является описание конструкции стенда на основе гидроупругого механизма для статико-динамических испытаний узлов и деталей машин, в частности поглощающих аппаратов грузовых и пассажирских вагонов, и написание математической модели для анализа основных рабочих характеристик стенда.

## **Математическая модель**

В этой статье представлена конструкция испытательного стенда, и математическая модель для него, позволяющего проводить испытания в следующих режимах:

- динамические испытания для проверки изделий на ударостойкость и ударопрочность, а также энергопоглощающих характеристик;
- статические циклические испытания для проверки работоспособности изделий;
- статические испытания в режиме ремонта и для испытаний изделий выдержкой под нагрузкой разного уровня.

Стенд ударный предназначен для размещения испытуемых изделий и создания им ударных нагрузений ускорениями разгона (торможения) заданной величины и длительности, а также для испытаний поглощающих аппаратов грузовых и пассажирских вагонов в трех режимах.

Стенд ударный (рис. 1) состоит из привода подвижных частей, четырех колонн 36 для крепления привода подвижных частей через фланец цилиндра привода посредством гаек 37, нижней поперечины 38, надставки 39, устанавливаемой на нижнюю поперечину и специального тормозного устройства 42, предназначенного для гашения остаточной скорости шток-клапана привода подвижных частей и ограничения хода шток-клапана 10.

Привод подвижных частей – преобразует потенциальную энергию сжатой рабочей жидкости в кинетическую энергию движения подвижных частей стенда с испытываемым изделием, создавая ударные нагружения ускорениями разгона без начальной скорости. Также используется как гидроцилиндр при статических испытаниях поглощающих аппаратов.

Привод подвижных частей состоит из цилиндра 2, разделенного шток-клапаном 10 на две полости: надштоковую и подштоковую. В подштоковой полости аккумулируется жидкость высокого давления. Надштоковая полость через отверстие в седле 9 и во фланце 3, и подштоковая полость через отверстие в цилиндре 2 и штуцере 13 соединены с гидросистемой. К верхней части цилиндра 2 посредством шпилек 11 и гаек 23, застопоренных посредством штифтов 30 и проволоки 34

крепится фланец 3. Между фланцем 3 и цилиндром 2 устанавливаются промежуточные элементы в виде комплекта шайб 1 имеющих различную высоту для изменения объема цилиндра 2. Цилиндр 2, фланец 3 и шайба 1 уплотнены посредством клинового соединения состоящего из клиньев 26 и прокладки из отожженной меди 27. В радиальном отверстии нижней и верхней частях цилиндра 2 установлены штуцера 13 и уплотнены медными кольцами 14.

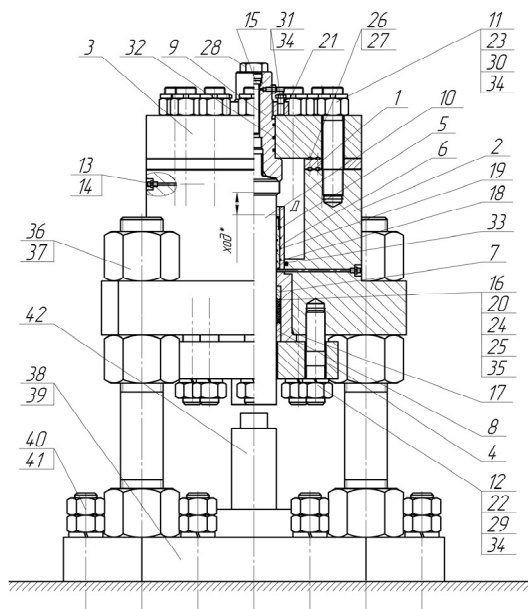


Рис. 1. Стенд ударный: 1 – шайба; 2 – цилиндр; 3 – фланец; 4 – фланец; 5 – плунжер кольцевой; 6 – вставка; 7 – втулка опорная; 8 – втулка нажимная; 9 – седло; 10 – шток-клапан; 11, 12 – шпилька; 13 – штуцер; 14-17, 24, 25 – кольцо; 18, 19 – кольцо уплотнительное; 21-23 – гайка; 26 – клин; 27 – прокладка; 28 – пробка; 29 – шайба пружинная; 30 – штифт; 31 – болт; 32, 33 – кольца; 34 – проволока; 35 – шнур; 36 – колонна; 37 – гайка; 38 – поперечина нижняя; 39 – надставка; 40 – гайка; 41 – шайба пружинная; 42 – тормозное устройство с испытуемым изделием

В нижнюю часть цилиндра 2 устанавливается вставка 6, в которой размещается шток-клапан 10 и возвратный кольцевой плунжер 5, который уплотнен кольцами 18 и 19. В нижней части вставки 6 устанавливаются армированные резиновые манжеты 20 с распорными кольцами 16, которые размещаются между опорной 7 и нажимной 8 втулками.

Кольца 24, 25 и резиновый шнур 35 способствуют лучшей герметизации шток-клапана 10 со стаканом 9. В средней части вставка 6 уплотнена резиновым кольцом 33, а в нижней медным кольцом 17. Поджатие манжет осуществляется посредством гаек 22 на шпильках 12 при помощи которых фиксируется вставка 6 посредством фланца 4, гайки стопорятся пружинными шайбами 29 и проволокой 34.

Седло 9 сопряжено с фланцем 3 и уплотнено резиновыми кольцами 32. Седло прижато к фланцу 3 гайкой 21, зафиксированной болтами 31, застопоренными проволокой 34. Осевое отверстие седла закрыто пробкой 28 и уплотнено медным кольцом 15. В радиальном отверстии закреплен штуцер 13. Соединение уплотнено медным кольцом 14.

Крепление цилиндра 2 осуществляется посредством четырех колонн с гайками через соответствующие отверстия в бурте цилиндра 2.

Работает стенд ударный следующим образом. В режиме динамических испытаний: в исходном положении надштоковая полость соединена со сливом, а шток-клапан посредством кольцевого возвратного плунжера прижат конической запорной поверхностью к седлу. В подштоковую полость через штуцер подают жидкость под высоким давлением. Благодаря разности площадей поперечных сечений тела шток-клапана (на диаметр 200 мм) и подштоковой полости (на диаметр 230 мм) он прижимается запорной поверхностью к седлу. После достижения необходимого давления жидкости в подштоковой полости надштоковую полость разъединяют со сливом и в нее подают жидкость от гидростанции или подштоковой полости цилиндра. При достижении определенного давления, когда сила, действующая на шток-клапан вниз, превысит силу, действующую на шток-клапан вверх, последний отходит от седла и энергия, запасенная жидкостью в надштоковой и подштоковой полостях и металлическими частями, находящимися под давлением, высвобождается, толкая шток-клапан вниз, а седло с цилиндром и инерционным блоком вверх и, как следствие, передавая ударное нагружение испытываемому изделию. После падения давления жидкости в цилиндре (полость Д) шток-клапан и связанные с ним детали тормозятся специальным тормозным (поглощающим) устройством. Для подъема шток-клапана вверх подштоковую область соединяют со сливом, а жидкость под давлением подают через нижний штуцер цилиндра к кольцевому возвратному плунжеру. Далее рабочий цикл повторяют.

При работе стенда в режиме циклических (статических) испытаний жидкость под давлением подают в надштоковую полость цилиндра, вследствие чего шток-клапан начинает движение и воздействует на испытываемое изделие. После достижения рабочего хода надштоковая область соединяется со сливом и давление подается через нижний

штуцер на кольцевой возвратный плунжер – происходит подъем шток-клапана вверх. Далее рабочий цикл повторяют.

При работе стенда в режиме ремонта принцип действия аналогичен режиму циклических испытаний, с тем отличием, что изделие может быть выдержано под давлением определенное время.

При этом для испытаний различного рода изделий при различных режимах можно варьировать такими параметрами стенда как: высота рабочего пространства стенда, ход шток-клапана, объем рабочей камеры, величина рабочего давления. При этом изменение объема рабочей камеры и величины рабочего давления дает возможность регулирования амплитуды, формы и времени действия ударного импульса, а также энергии удара.

Для анализа основных рабочих характеристик стенда в режиме динамических испытаний была разработана математическая модель. В данном случае математическая модель гидроупругого механизма спроектированного стенда выведена в предположении, что ход (разгона) приближения отсутствует либо довольно незначителен по сравнению с габаритами испытуемого изделия. В случае наличия хода приближения записывается система дифференциальных уравнений, соответствующих стадиям рабочего цикла с необходимыми начальными условиями.

При выводе модели будем задаваться необходимыми исходными данными, взятыми из конструкции стенда.

В общем виде модель будет записана следующим образом:

$$Ma = F_{ДВ} - F_{ПР} - F_{ТР} + Mg, \quad (1)$$

где  $M$  – масса движущихся частей;

$a = \ddot{x}$  – ускорение шток-клапана (от хода шток-клапана  $x$ );

$F_{ДВ}$  – движущая сила;

$F_{ПР}$  – сила противодействия, создаваемая поглощающим аппаратом;

$F_{ТР}$  – суммарная сила трения движению шток-клапана.

Движущая сила: 
$$F_{ДВ} = \frac{\pi}{4} d^2 p. \quad (2)$$

Сила противодействия: 
$$F_{ПР} = kx, \quad (3)$$

где  $k = 25 \cdot 10^6$  Нмм – коэффициент сопротивления аппарата;

$x$  – координата перемещения шток-клапана.

Сила трения в уплотнениях:

$$F_{ТР} = f\pi dbp, \quad (4)$$

где  $f = 0,1$  – коэффициент трения;

$d = 200$  мм – диаметр шток-клапана;

$b = 80$  мм – высота уплотнения;

$p$  – давление жидкости в гидроцилиндре.

При этом выберем закон изменения давления по формуле:

$$p = \frac{1}{c}(E_0 + cp_1) \cdot \left( \frac{V}{V + Sx} \right)^c - \frac{E_0}{c}, \quad (5)$$

где  $E_0$  – модуль объемной упругости рабочей жидкости;

$S$  – площадь поперечного сечения шток-клапана;

$V$  – объем рабочей жидкости;

$c$  – угловой коэффициент.

Тогда дифференциальное уравнение (1) примет вид:

$$Ma = \frac{\pi}{4} d^2 \left( \frac{E_0 + cp_1}{c} \left( \frac{V}{V + Sx} \right)^c - \frac{E_0}{c} \right) - kx - f \pi d b \left( \frac{E_0 + cp_1}{c} \left( \frac{V}{V + Sx} \right)^c - \frac{E_0}{c} \right) + Mg. \quad (6)$$

В качестве рабочей жидкости было выбрано масло минеральное АМГ-10, имеющие следующие характеристики: при температуре  $20^\circ\text{C}$   $E_0 = 1680$  МПа,  $c = 12,8$  [9].

### Результаты исследований

Решая данное уравнение с учетом вышеуказанных данных можно получить графики скорости и перемещения шток-клапана за время действия ударного импульса (рис. 2).

Из графика определено, что максимальная скорость составила 30 м/с, время процесса равно 6,5 мс, нулевая скорость соответствует ходу шток-клапана в 120,66 мм, что в данном случае говорит о необходимости применения тормозного устройства.

Испытания были проведены на модели подобного ударного стенда (рис. 3).

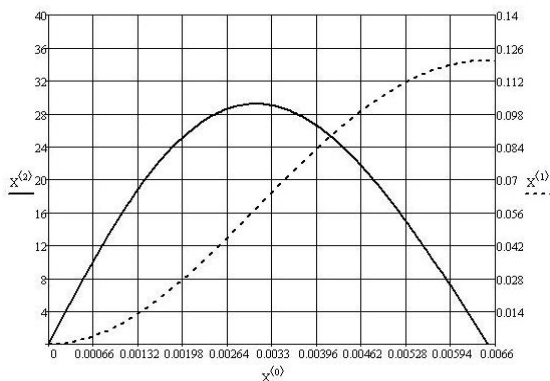


Рис. 2. Графики изменения хода и скорости шток-клапана

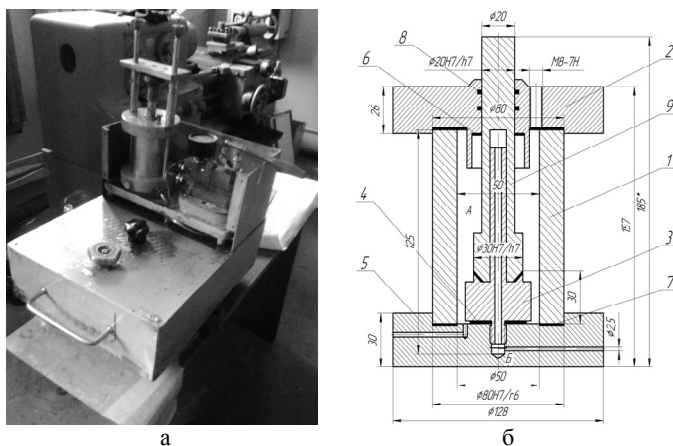


Рис. 3. Экспериментальная модель стэнда ударного – а и устройство ударного нагружения стэнда ударного – б: 1 – гидроцилиндр; 2 – верхняя поперечина; 3 – седло специальное; 4, 6, 7 – уплотнения; 5 – нижняя поперечина; 8 – кольцевое уплотнение; 9 – шток-клапан

В целом экспериментальные данные подтвердили значения характеристик, полученных по приведенной математической модели, и позволяют рекомендовать ее для расчетов параметров подобного стэнда.

### Выводы

В результате проведенной работы разработана конструктивная схема ударного стэнда на базе гидроупругого механизма для статико-динамических испытаний поглощающих аппаратов грузовых и пассажирских железнодорожных вагонов, деталей и узлов механизмов. Предложена и испытана на модели подобного стэнда математическая модель

стенда, позволяющая определить и уточнить рабочие характеристики подобных стендов. Такие стенды могут использоваться для испытаний изделий, деталей и узлов машин и других видов техники, что позволяет обеспечить повышение их надежности, качества и экономичности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Назилин С.В. Ударные стенды многократного действия произведенные фирмой Elstar [электронный ресурс] / С.В. Назилин // Технологии в электронной промышленности. – 2008. – №5. – Режим доступа: [http://www.tech-e.ru/2008\\_5\\_74.php](http://www.tech-e.ru/2008_5_74.php).
2. Ударные стенды США и Японии: каталог [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://assemrus.ru/oborudovanie/ispysatelnoe-oborudovanie/udarnye-stendy>.
3. Ударные стенды компании STI [электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.sovtest.ru/ru/type\\_eq/ispysaniya/mekhanicheskie-ispysaniya/uda-0](http://www.sovtest.ru/ru/type_eq/ispysaniya/mekhanicheskie-ispysaniya/uda-0).
4. Роганов Л.Л. Импульсные машины ударного действия с гидроупругим приводом / Л.Л. Роганов, Л.Н. Соколов, А.Ф. Тарасов // Обработка металлов в машиностроении. – Харьков: Вища школа, 1982. – Вып. 18 – С. 79-83.
5. А.с. 912386 СССР. Импульсный привод машины ударного действия / Л.Н. Соколов, К.К. Диамантопуло, Л.Л. Роганов. – Опубл. 15.03.82, Б. №10. – С.59.
6. А.с. 1747980 СССР. Стенд для ударных испытаний / Л.Л. Роганов, П.В. Шишлаков, А.К. Савинков. – Опубл. 15.07.92, Б. №26.
7. Роганов Л.Л. Совершенствование технологий и машин для разных отраслей машиностроения на основе развития гидроупругих и клиношарнирных механизмов / Л.Л. Роганов // Обработка материалов давлением. – Краматорск, ДГМА, 2011, №2(27), С. 163-168.
8. А.с. 530724 СССР. Гидропружинный молот / Л.Л. Роганов. – Опубл. 05.10.76, Б. №37 / Открытия. Изобретения. – 1976. - №37. – С.20.
9. Прокофьева В.Н. Машиностроительный гидропривод / В.Н. Прокофьева. – М.: Машиностроение, 1978. – 495 с.

## REFERENCES

1. Nazilin S.V. Udarnye stendy mnogokratnogo dejstvija proizvedenie firmoi Elstar [Shock tables of multiple action have been production by company Elstar] // Technologies in electronic industry. 2008, No. 5. – Access mode: [http://www.tech-e.ru/2008\\_5\\_74.php](http://www.tech-e.ru/2008_5_74.php).
2. Udarnye stendy SSHA i Japonii [Shock tables of USA and Japan]: catalog – Access mode: <http://assemrus.ru/oborudovanie/ispysatelnoe-oborudovanie/udarnye-stendy>.
3. Udarnye stendy firmi STI [Shock tables of company STI] – Access mode: [http://www.sovtest.ru/ru/type\\_eq/ispysaniya/mekhanicheskie-ispysaniya/uda-0](http://www.sovtest.ru/ru/type_eq/ispysaniya/mekhanicheskie-ispysaniya/uda-0).
4. Roganov L.L., sokolov L.N., Tarasov A.F. Impulsnie mashini ularnogo dejstvija s gidrouprugim privodom [Impulse-forming machines of impact action with hydroelastic drive] / Metal working in mechanical engineering. – Harkov: Vischa shkola, 1982, Vol. 18, pp. 79-83.
5. Patent 912386 USSR. Impulse drive of a machine of impact action. Published 15.03.82, Bulletin of inventions No. 10, 1982, p. 59.
6. Patent 1747980 USSR. Stand for impact tests. Published 15.07.92, Bulletin of inventions No. 26, 1992.
7. Roganov L.L. Sovershenstvovanie tehnologii i mashin dlya raznih otraslej mashinostroenija na osnove razvitija gidroupryghih i klinosharnirnih mehanizmov [Technologies and machines improvement for different branches of mechanical engineering on basis of developing of hydroelastic and wedge-hinge mechanisms] / Material processing by pressure. Kramatorsk, Donbas State Engineering Academy, 2011, No. 2(27), pp. 163-168.



8. Patent 530724 USSR. Hydroelastic hammer. Published 05.10.76, Bulletin of inventions No. 37, 1976. - p. 20.  
9. Prokof'eva V.N. Mashinostroitel'nyj gidroprivod [Engineering hydraulics]. Moscow: Mashinostroenie, 1978. - 495 p.

**Роганов М.Л., Роганов Л.Л., Грановський А.Є. Розробка конструкції стенда для випробувань з гідропружним механізмом для поглинаючих апаратів грузових і пасажирських вагонів.**

*Розглянуто сучасні ударні стенди і визначено загальний недолік для них – неможливість проведення статико-динамічних випробувань на одному стенді. Представлена конструкція стенда для випробувань, котрий дозволяє проводити випробування у трьох режимах. Запропонована і випробувана на моделі подібного стенда, математична модель стенда, котра дозволяє визначити та уточнити робочі характеристики подібних стендів. Експериментальні дані підтвердили значення характеристик, котрі були отримані за приведеною математичною моделлю. Зроблено висновки про розширення експлуатаційних і технологічних можливостей ударних стендів даної конструкції у порівнянні з іншими стендами.*

**Ключові слова:** ударний стенд, робоча рідина, ударний імпульс, математична модель, робочі характеристики.

**Roganov M.L., Roganov L.L., Granovsky A.E. Development of design of test stand with hydroelastic mechanism for cushions of coach and freight cars.**

*The purpose of this work is development the design and mathematical model of test stand that allows carrying out of static-dynamical tests in three regimes.*

*A general limitation of shock tables is the lack of capability to conduct static-dynamical tests at one table, therefore the design of test stand that allows carrying out tests in three regimes has presented. Mathematical model of stand that allows define and specify performance characteristics has been suggested and tested at the model of similar stand. Experimental data have been compared with characteristic values obtained at reduced mathematical model.*

*Experimental data have confirmed characteristic values obtained at reduced mathematical model. Conclusions concerning enhancement of operation and manufacturing capabilities of shock tables in comparison with other stands performed.*

*Design of test stand with hydroelastic mechanism and mathematical model of test stand, for static-dynamical tests of cushions of coach and freight cars have been developed. Developed test stand may be used for railway transport.*

**Keywords:** shock table, hydraulic fluid, impact momentum, mathematical model, performance characteristics.

Роганов М.Л. – канд. техн. наук, доцент, директор Інститута підвищення кваліфікації и переподготовки кадрів, г. Краматорск.

Роганов Л.Л. – д-р техн. наук, професор кафедри МТО Донбасської державної машинобудівної академії, г. Краматорск.

e-mail: [lev.roganov@dgma.donetsk.ua](mailto:lev.roganov@dgma.donetsk.ua)

Грановський А.Є. – магістрант кафедри МТО Донбасської державної машинобудівної академії, г. Краматорск.

e-mail: [anton.granovskij.1990@mail.ru](mailto:anton.granovskij.1990@mail.ru)