



## ОЦЕНКА РАБОТЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ИГК-90.1 И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ

**К.Ф. БОРЯК, М.А. МАНЗАРУК**

Одесская гос. акад. технического регулирования и качества. 65020, г. Одесса, ул.Кузнечная, 15.

E-mail: odivt@mail.ru; ndi\_pssem@mail.ru

Анализируются полученные эмпирическим путем графические зависимости между параметром сопротивления и скоростью перемещения поршня для различных четырех типов гидравлических гасителей колебаний, которые сегодня устанавливаются на локомотивах Одесской железной дороги. Поскольку параметр сопротивления для гидравлического гасителя является определяющим для оценивания его технической исправности, полученные эмпирическим путем значения (графические зависимости) параметра сопротивления от скорости вполне могут служить критерием при диагностировании технического состояния гасителей. Для этого надо установить численные значения (границы) доверительного интервала погрешности измерений параметра сопротивления и форму кривой для разных режимов работы (растяжения и сжатия), соответствующую технически исправному гидравлическому гасителю. Такая возможность проведения технической диагностики гидравлических гасителей колебаний появилась благодаря новой конструкции испытательного стенда марки ИГК-90.1. Приводятся первые положительные результаты работы испытательного стенда марки ИГК-90.1, конструкция которого выполнена на основе предложенного авторами нового подхода к получению демпфирующей характеристики (параметра сопротивления) испытуемого гидравлического гасителя колебаний.

*Ключевые слова:* гидравлический гаситель, испытательный стенд, параметр сопротивления

На Одесской железной дороге эксплуатируются электровозы серии ВЛ80т/с, ВЛ40у, 2ЭЛ5, 2ЭС5К, тепловозы серии ЧМЭЗ, на которых установлены четыре основных типа гидравлических гасителей колебаний: КВЗ 45.30.045, ТЕ 1-10А, 677.000-01 и 678.000. Общее количество установленных на тяговом подвижном составе Одесской железной дороги гидравлических гасителей колебаний составляет 7742 шт., причем наибольшее количество их приходится на электровозы серии ВЛ80 и тепловозы серии ЧМЭЗ. Проблема с эксплуатацией гасителей колебаний всегда остро стояла на Одесской железной дороге. Более серьезную актуальность проблема приобрела в последние годы, когда тепловозы серии ЧМЭЗ начали массово эксплуатироваться в качестве «диспетчерских» на полигонах плеч обслуживания. Недостаточная оснащенность технологическим оборудованием ремонтной базы в депо для проведения ремонта гидравлических гасителей колебаний, а главное, отсутствие возможности проводить на должном уровне их испытание, привело к ситуации, когда на один тепловоз ЧМЭЗ приходилось в среднем лишь 50 % исправных гасителей колебаний. В результате из-за наличия вертикального галопирования кузова тепловоза их эксплуатация со скоростями более 50 км/ч (при конструктивной 95 км/ч) стала невозможной, а это влечет за собой снижение участковых скоростей движения поездов и, как следствие, уменьшение общей пропускной способности железной дороги.

Учитывая то обстоятельство, что на приобретаемых сегодня Укрзалізницею новых электровозах марки 2ЭЛ5 та 2ЭС5К количество гасителей колебаний в 2,5 раза увеличено в сравнении с электровозами ВЛ80, возникает острая необходимость в организации в локомотивных депо отдельной позиции для проведения диагностики технического состояния гасителей колебаний, как того требует ведомственный технический регламент [1]. Неотъемлемой частью технического освидетельствования гасителей колебаний является процедура их испытания на специальных стендах. С этой целью локомотивными депо Котовск и Знаменка были приобретены современные испытательные стенды марки ИГК-90.1 отечественного производства (рис. 1).

В конструкцию испытательного стенда марки «ИГК-90.1» авторами заложен новый подход к получению демпфирующей характеристики (параметра сопротивления) для испытуемого гидравлического гасителя колебаний. Суть нового подхода подробно изложена в работе авторов [2] и заключается в допущении того, что функция параметра сопротивления  $\beta$  гасителя колебаний не зависит от вида закона механического нагружения гасителя  $F$  и может быть получена эмпирическим путем как зависимость между силой сопротивления  $P$  и скоростью перемещения поршня  $v$ , если испытания проводятся в достаточно широком диапазоне. Допущения авторов базируются на том основании, что вязкая несжимаемая жидкость имеет ин-



Рис. 1. Стенд ИГК-90.1, установленный в локомотивном депо Котовск Одесской железной дороги

финитезимальную (бесконечно короткую) память. Бесконечно короткая память – не просто одно из главных свойств вязкой несжимаемой жидкости – это ее определяющее свойство. Жидкость реагирует только на деформации, которым она подвергается в рассматриваемый момент времени и полностью забывает те деформации, которым она подвергалась любое конечное время тому назад, сколь бы недавно это ни происходило. Таким образом, можно допустить, что гидравлическая компонента гасителя колебаний является безынерционной и практически мгновенно реагирует на изменение воздействий дорожного полотна. Запаздывание может обуславливаться лишь сжимаемостью присутствующего в цилиндре гасителя колебаний воздуха и объективной инерционностью срабатывания его механических элементов (клапанов). Это подтверждается как практикой эксплуатации спортивных автомобилей, так и положениями о жидкостях [3].

Стенд имеет ряд существенных отличий от аналогичного оборудования других известных производителей. В конструкции стенда используется пневматический привод (встроенный компрессор) малой электрической мощности 2,2 кВт, который обеспечивает механическое возвратно-поступательное перемещение штока гасителя при испытаниях по синусоидальному закону. В случае использования для пневмопривода стенда магистрали воздуха, имеющейся в депо, потребление электроэнергии стендом можно снизить до 0,7 кВт. Известные аналоги гидроприводных стендов имеют мощность 22 кВт. Это позволяет отнести стенд ИГК-90.1 к классу энергосберегающего технологического оборудования, что отвечает принятой Кабинетом министров Украины концепции «Энергетической стратегии Украины до 2030 г.».

Вторым преимуществом является экологическая чистота пневмопривода и рабочего места, на котором отсутствует загрязнение маслом от гидропривода и его соединений в конструкции, что тоже немаловажно для условий эксплуатации стенда в ремонтных депо. В приводном механизме для пе-

ремещения поршня гасителя отсутствует промежуточный кривошипно-шатунный узел, что упрощает передачу нагрузки от привода к испытуемому гасителю колебаний и позволяет проводить испытания гасителя во всем рабочем диапазоне перемещения поршня (0...240 мм). Конструкция стенда выполнена таким образом, что в ходе испытаний позволяет определить для каждого конкретного испытуемого гасителя его «реальный» максимальный ход поршня. В ходе ремонта длина рабочего хода поршня гасителя может уменьшаться из-за возникающих дефектов приварки штока к крышке защитного кожуха либо из-за изгибных деформаций при установке. Выявить такие дефекты штока гасителя можно только путем испытания по максимальному рабочему ходу поршня. Это очень важно, поскольку только на максимальных ходах поршня при испытаниях можно выявить наличие или отсутствие воздуха в цилиндре гасителя и определить уровень демпфирующей жидкости (масла) в цилиндре, от которого зависит нормальная работа гасителя в целом. Например, в ходе эксплуатации было установлено, что гаситель типа KB3 45.30.045 становится неработоспособным вследствие попадания в рабочий цилиндр воздуха даже при небольшой потере жидкости ( $\approx 10\%$ ).

Фиксированный объем жидкости является одним из самых главных составных элементов любого гидравлического гасителя колебаний, обеспечивающего демпфирование по его назначению. Назначение гидравлического гасителя колебаний как поглотителя механической энергии определяется свойствами вязкой несжимаемой жидкости. Принцип работы гидравлических гасителей колебаний (рис. 2) заключается в последовательном перемещении вязкой жидкости из одной полости цилиндра в другую через специальные дроссельные отверстия в поршневой системе под внешним воздействием растягивающих или сжимающих сил [4].

К сожалению, в действующем ведомственном нормативном документе [1] отсутствуют четкие рекомендации относительно критериев выбора испытательного оборудования для гидравлических гасителей колебаний и предъявляемых к ним технических требований, что порождает разные подходы к проведению самих испытаний. Отсутствие единства приводит к тому, что эксплуатационные транспортные предприятия и производители гидравлических гасителей колебаний проводят свои испытания на различных испытательных стендах, которые отличаются не только по конструкции, но и по принципу работы. Например, известный всем российский производитель ОАО «Петуховский литейно-механический завод», который производит гасители колебаний (демпферы) типа KB3 45.30.045M, проводит проверку механических характеристик своих гасителей (с максимальным ходом поршня по

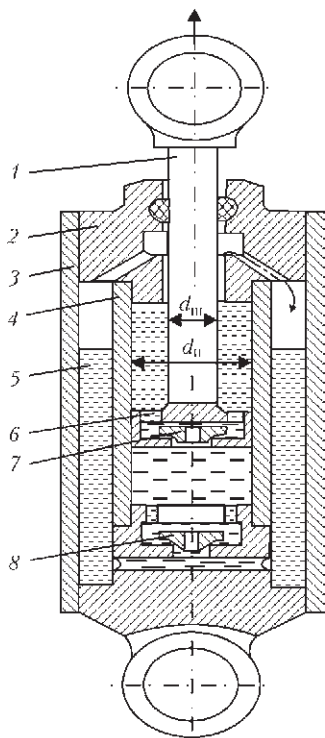


Рис. 2. Конструктивная схема гидравлического гасителя колебаний: 1 – шток; 2 – направляющая втулка; 3 – корпус; 4 – рабочий цилиндр; 5 – резервуар; 6 – поршень; 7 – верхний клапан; 8 – нижний клапан

паспорту 195 мм) на перемещении поршня всего в 50 мм (рис. 3).

Если принять на веру, что контроль качества на этом предприятии осуществляется одинаково хорошо на всех промежуточных этапах производства гасителя колебаний, то еще можно принять такие условия испытаний для новых изделий. Но вот для побывавших в эксплуатации гасителей колебаний проводить испытания уже точно необходимо на максимальном рабочем ходе поршня. К сожалению, во многих эксплуатационных транспортных депо не придают этому должного значения и проводят испытания гасителей на фиксированной и существенно ограниченной длине перемещения поршня (например, для гасителей типа КВЗ 45.30.045 на ходе до 100 мм). Причина этого явления очевидна – отсутствие в нормативном документе единства требований, предъявляемых к самой методике проведения испытаний и к

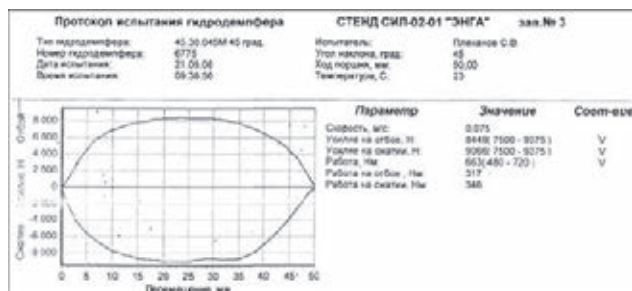


Рис. 3. Фрагмент протокола испытаний гасителя колебаний типа КВЗ 45.30.045М на стенде «ЭНГА» типа СИЛ-02-01

техническим возможностям испытательного оборудования. Это еще одна проблема, которая требует скорейшего разрешения, но она выходит за рамки настоящей статьи.

Стенд оснащен встроенной системой само-тестирования, что позволяет контролировать рабочее состояние исполнительных узлов в конструкции стенда и их соответствие паспортным техническим характеристикам перед началом проведения испытаний. Процесс проведения испытаний полностью автоматизирован и визуализируется на экране монитора в режиме реального времени (рис. 4).

Визуализация на экране монитора информации о результатах проведенных испытаний формируется в виде графических зависимостей между силой сопротивления  $P$ , параметром сопротивления  $\beta$  и скоростью перемещения поршня  $v$  (рис. 5). Для проведения анализа и принятия решения о техническом состоянии гасителя колебаний протокол с результатами испытаний распечатывается на бумаге, а также можно записать на портативный «флеш-носитель».

Гидравлические гасители колебаний не воспринимают статические нагрузки, а только развивают силы сопротивления во время относительных перемещений кузова, рамы тележки и буксы [4]. Сила сопротивления гидравлических гасителей колебаний пропорциональна скорости перемещения поршня:

$$P = \beta v, \quad (1)$$

где  $P$  – сила сопротивления, кН;  $v$  – скорость перемещения поршня, м/с;  $\beta$  – параметр сопротивления (коэффициент сопротивления), кН·с/м.

Параметр сопротивления  $\beta$  зависит от вязкости рабочей жидкости гасителя, площади сечения дроссельных отверстий клапанов, через которые проходит жидкость, и диаметра рабочей поверхности поршня. Оптимальное значение  $\beta$  рекомендуется определять по формуле:

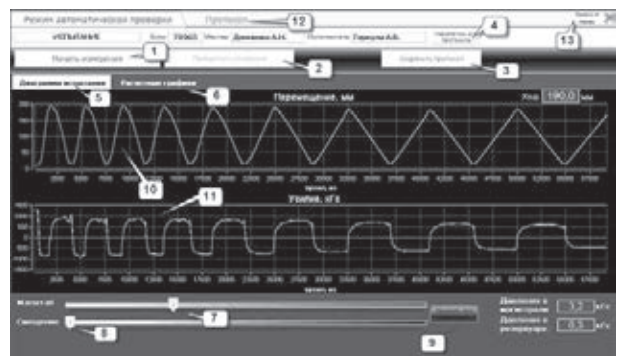


Рис. 4. Диаграммы испытаний гасителя колебаний на стенде ИГК-90.1 в режиме реального времени: 1...13 – чувствительные сенсорные элементы на экране монитора для интерактивного управления процессом испытаний оператором в «ручном» режиме

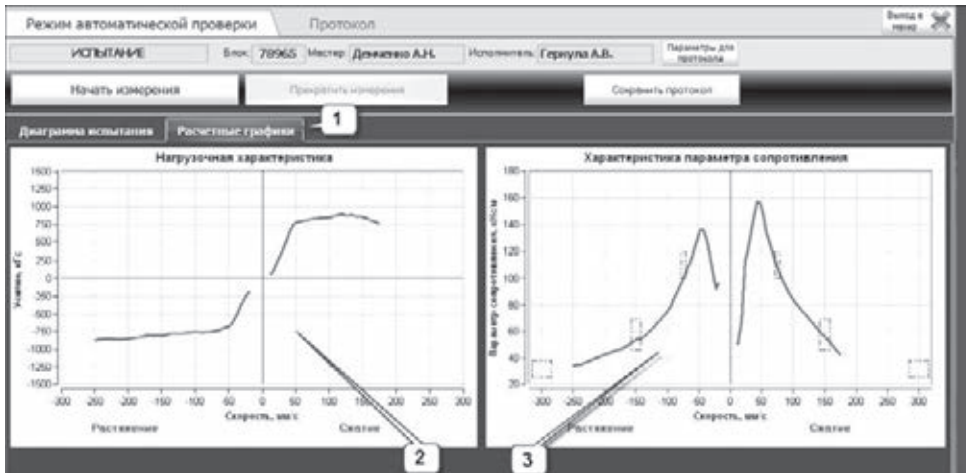


Рис. 5. Вид на экране монитора получаемых при испытаниях графических зависимостей между силой сопротивления  $P$  и скоростью перемещения поршня  $v$ , и параметром сопротивления  $\beta$  и скоростью перемещения поршня  $v$ : 1 – сенсорная клавиша для вывода графической информации; 2 – график изменения величины силы, прикладываемой к гасителю; 3 – график изменения параметра сопротивления

$$\beta = k\beta_{кр}, \quad (2)$$

где  $k$  – поправочный коэффициент (при  $k \leq 0,2$  – доля критического сопротивления, при котором колебания гасителя близки к гармоническим);  $\beta_{кр}$  – критическое значение параметра сопротивления, при котором колебания гасителя отсутствуют.

Заметим, что для сил сопротивления гидравлических гасителей существуют также и более общие модели вида [5]:

$$\beta v |v|^{n-1}, \quad n \geq 1,$$

причем от их выбора существенно зависит достоверность расчета подвески.

Нами был проведен анализ полученных при испытаниях графических зависимостей между силой сопротивления  $P$  и скоростью перемещения поршня  $v$ , и между параметром сопротивления  $\beta$  и скоростью перемещения поршня  $v$  для четырех типов разных гасителей колебаний (рис.6, 7).

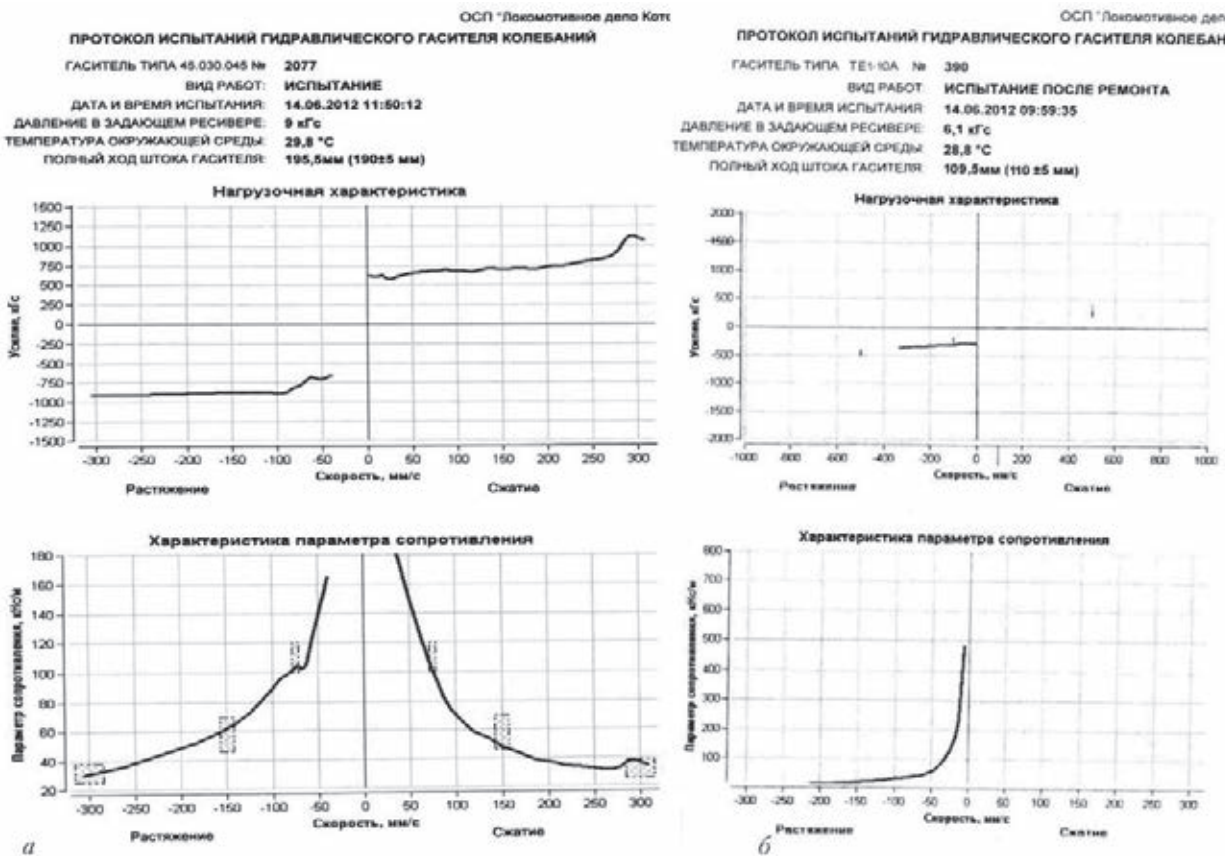


Рис. 6. Полученные при испытаниях графические зависимости между силой сопротивления  $P$  и скоростью перемещения поршня  $v$ , и между параметром сопротивления  $\beta$  и скоростью перемещения поршня  $v$  для разных типов гасителей колебаний: а – КВЗ 45.30.045; б – ТЕ 1-10А

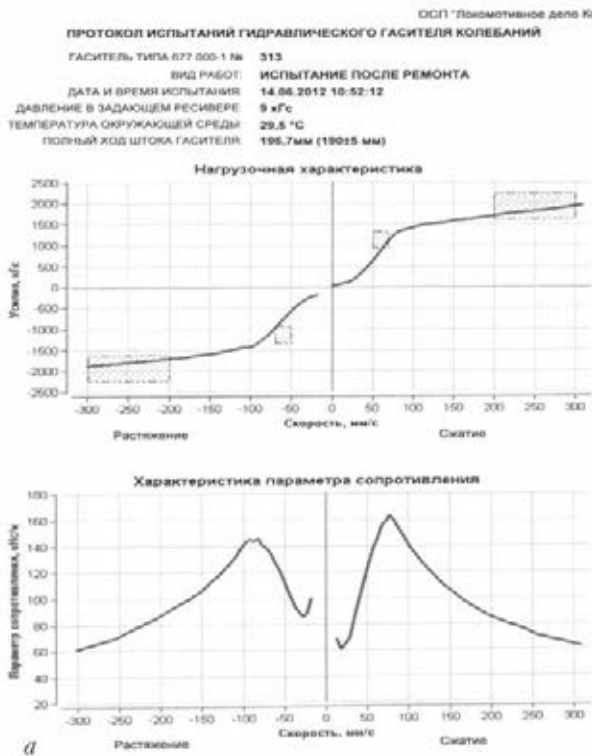


Рис. 7. Полученные при испытаниях графические зависимости между силой сопротивления  $P$  и скоростью перемещения поршня  $v$ , и между параметром сопротивления  $\beta$  и скоростью перемещения поршня  $v$  для разных типов гасителей колебаний: а – 677.000-01; б – 678.000

Было установлено, что указанная в соотношении (1) зависимость силы сопротивления  $P$  от скорости  $v$  разная для каждого из типов гасителей. Так, в режиме «сжатия» в диапазоне значений скоростей 50...250 м/с, а также в режиме «растяжения» в диапазоне 100...300 м/с для исправных гасителей колебаний типа КВЗ 45.30.045 графическая зависимость (рис. 6, а) имеет явно выраженный линейный характер, при этом значение силы сопротивления в указанном диапазоне практически не изменяется от скорости. Это может служить в дальнейшем как показатель технически исправного гасителя колебаний. То же можно сказать в режиме растяжения (рис. 6, б) и для гасителя типа ТЕ 1-10А. Однако для пограничных значений скоростей в диапазоне 250...300 м/с в режиме «сжатия» и в диапазоне 50...100 м/с в режиме «растяжения» имеет место явно выраженная нелинейность функциональной зависимости.

Для двух других типов гасителей 677.000-01 и 678.000 можно также констатировать сохранение характера линейности и нелинейности в указанных диапазонах и режимах (см. рис.7).

Но в отличие от двух предыдущих типов КВЗ 45.30.045 и ТЕ 1-10А, значение силы сопротивления в указанных диапазонах не постоянна, несмотря на то, что техническое состояние гасителей 677.000-01 и 678.000 полностью удовлетворяет требованиям нормативного документа [1]. Если на этом показателе качества оценивать работу всех четырех типов гасителей колебаний, то в

наиболее выигрышном положении окажутся типы КВЗ 45.30.045 и ТЕ 1-10А, которые обеспечивают постоянство значения силы сопротивления в достаточно широком диапазоне скоростей по сравнению с типами 677.000-01 и 678.000. Если графическая зависимость  $P$  от  $v$  более пологая, чем шире сам диапазон, тем комфортнее будет поездка для пассажиров и машиниста на транспортном средстве. Но это выходит за рамки обзора результатов работы испытательного оборудования и принятой методике проведения испытаний.

Распространение механических воздействий в вязкой несжимаемой жидкости происходит практически мгновенно (со скоростью звука) и с этой точки зрения можно провести аналогию со свойствами твердого тела. Для предотвращения деформации конструкции гасителя колебаний от воздействия на них ударных нагрузок в поршневую систему встраивают предохранительные клапаны для экстренного перепуска жидкости. Точки, в которых наблюдается резкое изменение графической зависимости  $P$  от  $v$  (характерно для типов 677.000-01 и 678.000) соответствуют моменту срабатывания клапанов, т.е моменту перехода из дроссельного режима работы гасителя в клапанный (см. рис.7). Это может служить информацией для определения момента срабатывания клапанов и в дальнейшем использоваться в регулировочных работах при ремонте гасителей.

В своей технической документации производители гасителей колебаний указывают толь-



ко значения силы сопротивления  $P$ , привязанные к конкретной скорости, и не указывают значение параметра сопротивления, поскольку заранее неизвестна искомая функция зависимости  $\beta$  от  $v$ , а существующие на заводах испытательные стенды не позволяют получать указанную зависимость эмпирическим путем (см. рис. 3).

Новая конструкция стенда ИГК-90.1 позволяет набрать статистику протоколов для каждого из четырех типов гасителей и после соответствующей обработки полученной информации установить аналитическое выражение функции зависимости  $\beta$  от  $v$  или определить поправочные коэффициенты  $k$  для полученных значений параметра сопротивления. Сбор статистической базы протоколов испытаний открывает возможности по созданию встроенной в испытательный стенд ИГК-90.1 экспертной системы диагностирования, которая на основании анализа полученных результатов смо-

жет независимо от влияния человеческого фактора определять техническое состояние испытуемых гасителей колебаний при регламентированном обслуживании локомотивов. Однако для этого нужно провести дополнительные экспериментальные исследования, которые и послужат фундаментом для создания экспертной системы.

1. *Інструкція по утриманню, ремонту та випробуванню гасителів коливальних локомотивів і моторвагонного рухомого складу.* – ЦТ-0062: Затв. Головним управлінням локомотивного господарства Укрзалізниці (Наказ № 53-ц від 27.02.2003).
2. *Боряк К.Ф., Манзарук М.А., Разумовский А.Л.* Пневмоприводной стенд для испытаний гидравлических гасителей колебаний локомотивов // *Вибрация машин: измерение, снижение, защита.* – 2012. – **30**, № 3. – С. 31–35.
3. *Трусделл К.* Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. – М.: Мир, 1975. – 592 с.
4. *Челноков И.И.* Гидравлические гасители колебаний пассажирских вагонов. – М.: Транспорт, 1975. – 72 с.
5. *Пановко Я.Г.* Основы прикладной теории колебаний и удара. – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.

The paper gives analysis of graphic dependencies between resistance parameter and piston displacement speed obtained empirically for four different types of hydraulic shock absorbers, which are now installed on locomotives of Odessa railway. As the resistance parameter for the hydraulic absorber is the determinant parameter for evaluation of its technical condition, empirically derived values (graphic dependencies) of resistance parameter on speed can quite well be a criterion at diagnostics of shock absorber technical condition. For this purpose, it is necessary to set the numerical values (limits) of confidence interval of measurement error of the resistance parameter and shape of the curve for various operating modes (tension and compression), corresponding to hydraulic shock absorber in good working order. Conducting such technical diagnostics of hydraulic shock absorbers was made possible by the new design of testing facility of “IGK-90.1” grade. The first positive results of operation of testing facility of “IGK-90.1” grade are given. The facility design is based on a new approach proposed by the authors for derivation of damping characteristic (resistance parameter) of the tested hydraulic shock absorber.

*Keywords:* hydraulic shock absorber; testing facility; resistance parameter

Поступила в редакцию  
17.03.2013

**НОВАЯ КНИГА**

**Сидорец В. Н., Пентегов И. В.**

**Детерминированный хаос в нелинейных цепях с электрической дугой.** – Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2013. – 272 с.



Монография посвящена изложению результатов исследования фундаментальных свойств электрической дуги как нелинейного элемента электрических цепей. Описаны выявленные закономерности и механизмы возникновения детерминированного хаоса в этих цепях и сценарии его развития. Особое внимание уделено оригинальным математическим методам исследования нелинейных динамических систем. Все полученные результаты проиллюстрированы.

Монография рассчитана на широкий круг специалистов в областях теоретической электротехники и нелинейных динамических систем. Она может быть полезна ученым, аспирантам и студентам.

*Заказы на книгу просьба направлять в редакцию журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»*