

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРИМЕНЕНИЯ СОПЛОВЫХ ГИДРОДИОДОВ В КОНСТРУКЦИИ ДВУХТРУБНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АМОРТИЗАТОРА

С. Ю. Кайгородов<sup>1</sup>, А. А. Шапошков<sup>1</sup>, И. В. Цветков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Омский государственный технический университет,  
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

<sup>2</sup>Омский автобронетанковый инженерный институт,  
Россия, 644098, г. Омск, Военный 14-й городок, 119

**Разработка методики расчета применения сопловых гидродиюдов в конструкции двухтрубного гидравлического амортизатора ведется через рассмотрение таких проблем, как недолговечность и износ подвижных элементов (клапанов) в конструкции гидроамортизатора. В работе рассматривается метод расчета амортизатора с гидродиюдами (неподвижными элементами). Научная новизна и задача состоит в замене подвижных гидравлических клапанов в конструкции амортизатора на сопловые гидравлические дюды, что, теоретически, продлит срок службы данного агрегата в связи с отсутствием динамики движения и износа подвижных частей.**

**Ключевые слова:** гидравлический амортизатор, клапан, гидродиюд, местные сопротивления, дюдность.

С самого начала технического прогресса человечество постоянно дорабатывает и совершенствует узлы и детали механизмов, обеспечивающих лучший комфорт, надежность, долговечность и другие эксплуатационные характеристики изделий.

Для улучшения комфорта и надежности при передвижении, было придумано множество систем поддрессоривания, обеспечивающих гашение колебаний, вызванных неровностью дороги. С момента появления первых автомобилей конструкторы задумывались над тем, какой способ гашения вибрации кузова будет лучшим.

При множестве вариантов на сегодняшний день лучшее решение — это интеграция в подвеску специальных устройств — автомобильных амортизаторов. На данный момент в большей степени распространены гидравлические телескопические амортизаторы (ГА).

Амортизаторы являются частью подвески и используются для предотвращения раскачки кузова автомобиля, а также для предотвращения передачи энергии разжатия от пружины к кузову. Эти устройства не позволяют колебаниям пружины происходить во время отбоя (разжатия) пружины, подавляя данный процесс.

Благодаря амортизаторам демпфируются вибрации корпуса автомобиля и колес из-за трения жидкости внутри амортизатора. Из-за особой конструкции трение жидкости, возникающее когда жидкость проходит через узкие отверстия в поршневых клапанах, гасит механическую энергию движения и колебаний составных частей амортизатора, и, впоследствии, энергия механических колебаний превращается в тепло.

Рассмотрим общий принцип работы ГА, схематично изображенного на рис. 1.

Внутренняя труба 1 гидравлического амортизатора называется «рабочей» и всегда заполнена рабочей жидкостью (маслом) 2. Поршень 3 движется в рабочей трубе 1 с усилием из-за вязкости рабочей жидкости 2. Внешняя труба 4, также известная как корпус амортизатора, является «расширительным баком» для внутренней трубы 1. В процессе работы «избыток» масла 2 через гидравлические клапаны 5 вытесняется из внутренней трубы 1 во внешнюю 4 при ходе сжатия, или обратно компенсирует «недостаток» внутренней трубы 1 рабочей жидкости 2 при расширении. По принципу работы данный механизм напоминает расширительный бак системы охлаждения автомобиля.

В конструкции двухтрубного ГА обычно применяются четыре клапана: сжатия, отбоя, нижний впускной, надпоршневой перепускной.

В процессе работы клапаны ГА неизбежно теряют свои первоначальные характеристики. В процессе эксплуатации техники очень трудно избежать неблагоприятных режимов работы, изнашивающих внутренние гидравлические клапаны. К таким режимам относятся предельно высокие и низкие температуры и длительная езда на невысокой скорости с большими амплитудами перемещения штока. Данный процесс обусловлен прежде всего тем, что клапаны — это механически подвижные элементы, при работе которых возникают износ и усталостное повреждение деталей. Усталостный износ и повреждение деталей клапанов гидравлических амортизаторов влекут за собой:

— **крен при смене траектории движения.** После выхода из резкого крена при вхождении в поворот корпус не должен раскачиваться в поперечной плоскости;

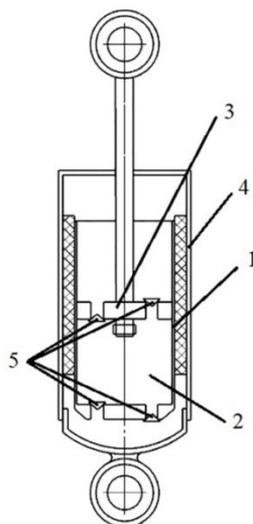


Рис. 1. Общий принцип работы двухтрубного гидравлического амортизатора  
 Fig. 1. General principle of operation of a two-tube hydraulic shock absorber

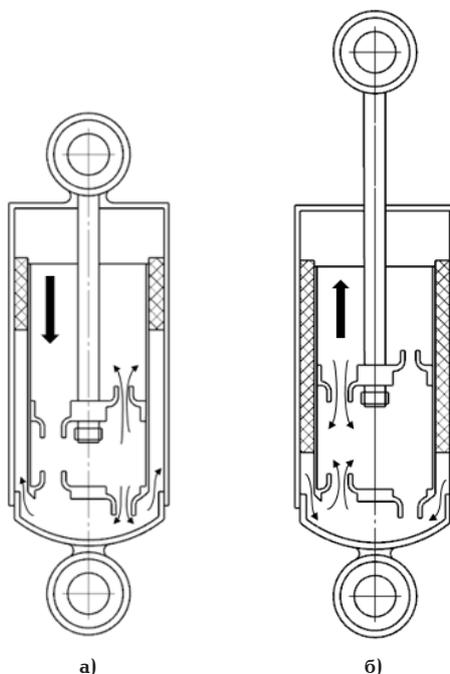


Рис. 2. Общий принцип работы двухтрубного гидравлического амортизатора с сопловыми гидродиодами:  
 а) сжатие; б) расширение (отбой)  
 Fig. 2. The general principle of operation of a two-tube hydraulic shock absorber with nozzle hydrodiodes:  
 a) compression; b) expansion (rebound)

— **увеличение тормозного пути.** Связано это с тем, что в процессе длительного торможения амортизатор не гасит вибрацию и машина периодически поднимает и опускает переднюю часть кузова. Из-за этого уменьшается нагрузка на передние колеса, что влечет неэффективность торможения. В особенности увеличение тормозного пути характерно для автомобилей, оборудованных антиблокировочной системой. Это обусловлено тем, что задняя часть кузова приподнимается и ABS снижает давление в магистрали тормозной системы. По неровной дороге тормозной путь возрастает на большую величину;

— **автомобиль отклоняется от заданного направления.** В прямом положении установки руля автомобиль уведет в сторону. Поэтому водителю приходится постоянно восстанавливать траекторию движения;

— **распространение износа на элементы подвески автомобиля:** износ отбойников и пружин, сайлентблоков, покрышек, резиновых втулок и т.д. [1].

Для работы ГА обычно нет необходимости полностью перекрывать поток его рабочей жидкости, достаточно лишь ограничить скорость путем дросселирования. Тем не менее полностью исключить из конструкции гидравлического амортизатора эле-

менты, выполняющие функцию клапана, не представляется возможным, так как для его работы необходимо ограничить поступление рабочей жидкости в ту или иную полость.

Таким образом, для увеличения надежности гидравлических амортизаторов необходимо увеличить надежность его клапанных элементов.

В связи с чем становится актуальной задача возможной замены в ГА клапанов, подверженных механическому износу, на неподвижные элементы, выполняющие функции клапана, при этом лишены вышеназванного недостатка.

Таковыми элементами могут являться гидравлические диоды (гидродиоды). Существует множество различных конструкций гидродиодов, в том числе и с подвижными элементами, выполняющие схожие с клапаном функции, но отличны от его конструкции в классическом понимании [2–12].

В настоящее время исследование конструкций гидравлических диодов и их работы в составе агрегатов и систем становится актуальной задачей [2–27].

Одним из наиболее перспективных видов гидравлического диода, установка которого возможна в конструкцию современных гидравлических амортизаторов без значительных изменений, является сопловой гидравлический диод. Данный гидродиод достаточно прост по конструкции и не сложен в изготовлении, а также может быть выполнен с различными геометрическими параметрами, что позволяет осуществить его установку взамен различных гидравлических клапанов различных систем и агрегатов.

Рассмотрим схему работы двухтрубного гидравлического амортизатора с сопловыми гидродиодами (рис. 2).

В целом конструкция двухтрубного гидравлического амортизатора с сопловыми гидродиодами повторяет конструкцию гидравлического амортизатора с клапанами, представленного на рис. 1, в котором была осуществлена замена гидравлических клапанов на сопловые гидродиоды.

Принцип работы гидравлического амортизатора после осуществленной замены остался неизменным.

На рис. 2а изображен гидравлический амортизатор с сопловыми гидродиодами при ходе сжатия, где стрелочками показано направление течения рабочей жидкости из-под поршневой полости в надпоршневую и с внутренней трубы во внешнюю.

На рис. 2б изображен гидравлический амортизатор с сопловыми гидродиодами при ходе отбоя, где стрелочками показано направление течения рабочей жидкости из надпоршневой полости в подпоршневую и с внешней трубы во внутреннюю.

При разработке методики расчета применения сопловых гидродиодов в конструкции двухтрубного гидравлического амортизатора целесообразнее рассмотреть гидродиод, сопоставимый по геометрическим размерам с клапаном, применяемым в конструкциях современных гидравлических амортизаторов.

При проведении гидравлического расчета амортизатора выбирается такая площадь поперечного сечения проходных отверстий, чтобы получить заданную характеристику.

Исходя из существующих методов расчета [28], составлена общая гидравлическая схема исследуемого амортизатора, представленная на рис. 3, и его математическая модель.

Для математического описания работы гидравлического амортизатора с гидродиодами служит модель, состоящая из следующей системы уравнений:

— уравнение движения поршня гидроамортизатора;

— уравнение расходов.

Рассмотрим данные уравнения:

**Уравнение движения поршня гидроамортизатора с сопловыми гидродиодами:**

$$M \frac{d^2x}{dt} = P - p_T - p_{ГА} - p_{np}, \quad (1)$$

где  $M$  — величина тормозимых масс, приведенных к поршню ГА;  $x$  — перемещение поршня ГА;  $P$  — сила давления на поршень ГА со стороны привода;  $p_T$  — сила трения в системе (сила трения принята постоянной);  $p_{ГА}$  — сила давления масла на поршень гидроамортизатора.

$$p_{ГА} = \frac{\pi}{4} (D^2 \cdot p - (D^2 - d^2) p_{ак}), \quad (2)$$

где  $D$  и  $d$  — диаметры поршня и штока ГА;  $p$  — давление масла в поршневой полости ГА;  $p_{ак}$  — давление в аккумуляторе ГА.

$$p_{ак} = \left( \frac{W_{ак} p_{np}}{W_{ак} - \frac{\pi}{4} d^2 x} \right)^n, \quad (3)$$

где  $W_{ак}$  — объем газа в камерах материала, заполняющего аккумулятор;  $n$  — показатель политропы термодинамического процесса изменения состояния газа в аккумуляторе гидроамортизатора;  $p_{np}$  — сила возврата штока пружиной.

$$p_{np} = P_0 + c_2 x, \quad (4)$$

где  $P_0$  — сила начального сжатия пружины;  $c_2$  — жесткость пружины возврата;  $x$  — величина деформации пружины, равная ходу поршня.

**Уравнение расходов для гидравлического амортизатора с сопловыми гидродиодами:**

$$\frac{\pi}{4} D^2 \frac{dx}{dt} = S \sqrt{\frac{2}{\rho \xi} (p - p_{ак})} + \frac{W_p}{E} \frac{dp}{dt}, \quad (5)$$

где  $\rho$  — плотность масла;  $\xi$  — коэффициент местного сопротивления через гидравлический диод;  $S$  — площадь проходного сечения гидродиода;  $W_p$  — объем масла в поршневой полости ГА;  $E$  — приведенный модуль упругости наконечника штока ГА, модуль упругости масла.

$$W_p = \frac{\pi}{4} D^2 (x_{\max} - x), \quad (6)$$

где  $x_{\max}$  — максимальная величина перемещения поршня гидроамортизатора или его длина хода.

$$\zeta_{пп} = \frac{w_p}{w_p/E_m + \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right)^2 / c}, \quad (7)$$

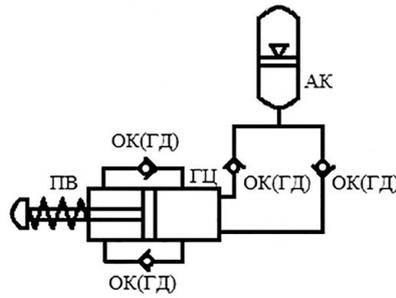


Рис. 3. Общая схема исследуемого гидравлического амортизатора с применением гидравлического диода (ГД)  
 Fig. 3 General scheme of the studied hydraulic shock absorber with the use of a hydraulic diode (GD)

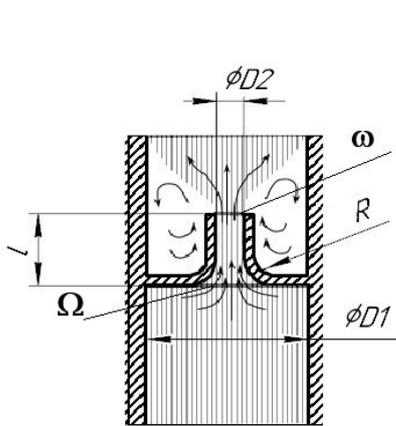


Рис. 4. Сопловой гидродиод при течении рабочей жидкости в прямом направлении  
 Fig. 4. Nozzle herodium in the flow of the working fluid in the forward direction

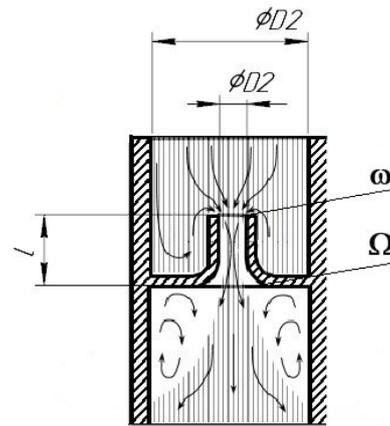


Рис. 5. Сопловой гидродиод при течении рабочей жидкости в обратном направлении  
 Fig. 5. Nozzle herodium in the flow of the working fluid in the opposite direction

где  $E_m$  — объемный модуль упругости масла;  $c$  — жесткость наконечника гидравлического амортизатора.

Таким образом, можно записать полученную систему в виде:

$$\begin{cases} M \frac{d^2x}{dt} = P - p_T - p_{ГД}; \\ \frac{\pi D^2}{4} \frac{dx}{dt} = S \sqrt{\frac{2}{\rho \xi} (p - p_{ак}) + \frac{W_p}{E} \frac{dp}{dt}}. \end{cases} \quad (8)$$

Решая данную систему уравнений применительно к гидравлическому амортизатору с гидравлическими диодами различных типов, можно получить, например, график зависимости скорости движения поршня гидравлического амортизатора от времени. Сопоставив полученный график с аналогичным для гидравлического амортизатора с гидравлическими клапанами, возможно произвести анализ полученных данных, тем самым определить наиболее оптимальные конструктивные параметры используемых гидравлических диодов в конструкции амортизатора.

Стоит отметить, что конструктивно автомобильные гидравлические амортизаторы мало чем отличаются от гидравлических амортизаторов, применяемых в других системах, механизмах и агрегатах. Таким образом, сфера возможного применения таких амортизаторов огромна.

Также стоит отметить, что применение именно соплового гидравлического диода в конструкции амортизатора не является обязательным, таким образом, возможно использование и других видов гидравлических диодов, что, безусловно, скажется на характеристиках самого амортизатора.

При расчете амортизатора с применением других видов гидравлических диодов система полученных уравнений (8) остается прежней. Для чего при решении системы (8) необходимо учитывать коэффициент местного сопротивления через гидравлический диод ( $\xi$ ), который будет различным не только для прямого и обратного направления течения рабочей жидкости, но и при выборе другого типа диода.

Отличие данной методики расчета модели гидравлического амортизатора с гидравлическими диодами относительно клапанного гидравлического амортизатора связано, прежде всего, с тем, что в разработанной модели отсутствует уравнение движения подвижного элемента клапана, при этом площадь проходного сечения клапана остается неизменной.

Рассмотрим расчет соплового диода.

В прямом направлении (рис. 4) потери энергии рабочей жидкости представляют собой совокупность из потерь на плавном входе в сопло, на трение в сопле и на внезапное расширение за соплом.

При радиусе скругления входа сопла  $r \geq 0,2D_2$  (где  $D_2$  — минимальный диаметр проходного сече-

ния гидродиода), согласно источнику [29], коэффициент входного сопротивления  $\zeta_{BX}$  составляет 0,03, а торцевые стенки не смягчают условия входа, если

$$\frac{l}{D_1} \geq 0,5. \text{ Учитывая, что для уменьшения потерь на}$$

трение в прямом потоке следует стремиться к минимальной длине сопла  $l$ , отношение  $\frac{l}{D_1} = 0,5$  следует считать оптимальным.

Коэффициент сопротивления внезапного расширения определяется по формуле:

$$\zeta_{BP} = \left(1 - \frac{\omega}{\Omega}\right)^2, \quad (9)$$

где  $\omega$  и  $\Omega$  соответственно площади сопла и подводящей трубы.

Таким образом, формула для расчета коэффициента сопротивления в прямом направлении будет выглядеть следующим образом:

$$\zeta_{PP} = 0,03 + \left(1 - \frac{\omega}{\Omega}\right)^2. \quad (10)$$

При обратном потоке (рис. 5) потери энергии складываются из потерь на вход и потерь на расширение.

В этом случае коэффициент сопротивления может быть принят равным коэффициенту сопротивления при истечении через отверстие в тонкой стенке [29], т.е.  $\zeta = 0,06$ .

Учитывая, что в этом случае происходит сужение потока, после чего и происходит внезапное расширение, также необходимо учитывать этот факт, т.е. величину  $\zeta_{BP}$ , определяемую уравнением (9), в котором следует принять  $\omega = \omega_h$ , где  $\omega_h$  — скорость в сечении сопла.

Определяя  $\omega_h = \omega \cdot \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  — коэффициент сужения потока, величину  $\zeta_{OB}$  можно найти из уравнения

$$\zeta_{PP} = \left(1 - \frac{\varepsilon \cdot \omega}{\Omega}\right)^2. \quad (11)$$

Коэффициент сужения потока можно определить в соответствии с [29] выражением

$$\varepsilon = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{\omega}{\Omega}(1 + \zeta_{BX})}\right] \frac{\Omega}{\omega}. \quad (12)$$

В литературе [31, 32] приводятся расчетные сведения о сопловых диодах, из которых следует, что максимальное отношение прямого к обратному расходу ( $\Delta$  — диодность) составляет не более 3–4. И в таком случае прямое сопротивление диода ( $\zeta_{PP}$ ) очень мало (примерно 0,07–0,04), что делает его чувствительным к нагрузке.

Исходя из источников [30, 32–35], можно сделать выводы, что математическая модель гидравлических диодов еще мало изучена и не учитывает множества факторов. Тем не менее расчет одиночных гидравлических диодов уже на данном этапе дает объективную картину происходящих процессов.

Анализируя представленные данные, можно сделать вывод, что замена гидравлических клапанов

на сопловые гидродиоды в конструкции гидравлических амортизаторов, теоретически, должна обеспечить соответствующие характеристики, что и при работе с клапанами.

Таким образом, используя данную методику, можно произвести гидравлический расчет амортизатора с сопловыми гидродиодами. Эффективность данной замены определяется прежде всего выбранными характеристиками амортизатора, а также конструкцией и количеством используемых сопел в конструкции гидродиода, что так же может существенно повлиять на диодность гидравлического диода и, как следствие, на работу самого гидравлического амортизатора.

#### Список источников

1. Дербаремдикер А. Д. Гидравлические амортизаторы автомобилей М.: Машиностроение, 1969. 263 с.
2. Пат. UA 16951 Україна, МПК F 16 L 55/02. Клапан для захисту від гідравлічних ударів / Оверко В. М., Замко Ю. О., Оверко М. В. № 200510628; заявл. 10.11.05; опубл. 15.09.06, Бюл. № 9.
3. Пат. UA 68287 Україна, МПК F 25 B 41/00. Струминний діод для теплових насосів / Оверко В. М., Селівра С. О., Оверко М. В. [и др.]. № 201109208; заявл. 22.07.11; опубл. 26.03.12, Бюл. № 6.
4. Пат. UA 75676 Україна, МПК F 25 B 41/00. Струминний діод для теплових насосів / Бойко М. Г., Оверко В. М., Оверко М. В. [и др.]. № 201206292; заявл. 24.05.12; опубл. 10.12.12, Бюл. № 23.
5. Пат. UA 75770 Україна, МПК F1 6 L 55/04. Струменевий діод / Кононенко А. П., Оверко В. М., Оверко М. В. [и др.]. № 201207120; заявл. 12.06.12; опубл. 10.12.12, Бюл. № 23.
6. Пат. UA 79188 Україна, МПК F 16 L 55/02. Спосіб гасіння енергії хвиль при гідравлічному ударі / Кононенко А. П., Оверко В. М., Овсянников В. П. [и др.]. № 201212886; заявл. 13.11.12; опубл. 25.03.13, Бюл. № 7.
7. Пат. UA 88736 Україна, МПК B 01 D 45/12. Струминний діод / Кононенко А. П., Оверко В. М., Оверко М. В. [и др.]. № 201313354; заявл. 18.11.13; опубл. 25.03.14, Бюл. № 6.
8. Пат. UA 89206 Україна, МПК F 16 K 15/00. Зворотний клапан / Кононенко А. П., Оверко В. М., Овсянников В. П. [и др.]. № 201313668; заявл. 25.11.13; опубл. 10.04.14, Бюл. № 7.
9. John L. Broughtin Fluid diode. US patent 20040031249; filed October 15th, 2003; published February 19th, 2004.
10. Singh Param I. Vortex diode check valve with flexible diaphragm. US patent 425998A; filed September 17th, 1979; published April 07th, 1981.
11. Пат. 2593919 Российская Федерация, МПК G 05 D 7/01. Гидравлический или пневматический диод / Болштянский А. П., Щерба В. Е., Носов Е. Ю., Кайгородов С. Ю. № 2015112264/28; заявл. 03.04.15; опубл. 10.08.16, Бюл. № 22.
12. Пат. 2598125 Российская Федерация, МПК G 05 D 7/01. Гидравлический и пневматический прямооточный диод / Кайгородов С. Ю., Болштянский А. П., Щерба В. Е. № 2015129270/11; заявл. 16.07.15; опубл. 20.09.16., Бюл. № 26.
13. Спиридонов Е. К., Хабарова Д. Ф. Расчетная модель и характеристики бесклапанного поршневого насоса одностороннего действия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2014. Т. 14, № 4. С. 13–22.
14. Спиридонов Е. К., Хабарова Д. Ф. Принципиальные схемы и характеристики бесклапанных насосов с вытеснителем возвратно-поступательного перемещения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 1-2. С. 309–313.
15. Khabarova D. F., Podzerko A. V., Spiridonov E. K. Experimental investigation of fluidic diodes // Procedia Engineering. 2017. P. 93–98. DOI: 10.1016/J.PROENG.2017.10.443.

16. Спиридонов Е. К., Хабарова Д. Ф. Гидродинамика и характеристики поршневого насоса с гидродиодами // *Journal of Dynamics and Vibroacoustics*. 2015. Т. 2, № 2. С. 43–50. DOI: 10.18287/2409-4579-2015-2-2-43-50.
17. Хабарова Д. Ф., Подзерко А. В., Спиридонов Е. К. Экспериментальное исследование вихревых диодов // *Пром-Инжиниринг*: тр. III Междунар. науч.-техн. конф. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2017. С. 9–12.
18. Хабарова Д. Ф., Спиридонов Е. К. Экстремальные характеристики и расчет бесклапанных поршневых насосов с гидравлическими диодами // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника*. 2018. № 55. С. 52–60. DOI: 10.15593/2224-9982/2018.55.06.
19. Кайгородов С. Ю. Использование гидродиодов при гемотрансфузии // *Актуальные вопросы биомедицинской инженерии*: сб. тр. конф. Саратов: Изд-во Саратовского гос. техн. ун-та им. Гагарина Ю. А., 2017. С. 100–102. ISBN 978-5-7433-3122-2.
20. Кайгородов С. Ю. Влияние конструктивных параметров гидродиода на его диодность // *Вестник машиностроения*. 2018. № 12. С. 42–43.
21. Пат. 2683051 Российская Федерация, МПК F 04 В 19/06. Способ работы поршневого насос-компрессора и устройство для его осуществления / Кайгородов С. Ю. № 2018118098; заявл. 16.05.18; опубл. 26.03.19, Бюл. № 9.
22. Пат. 192060 Российская Федерация, МПК F 28 F 99/00. Система охлаждения теплонапряженных компонентов нагреваемых устройств / Кайгородов С. Ю. № 20199115640; заявл. 22.05.19; опубл. 03.09.19, Бюл. № 25.
23. Kaigorodov S. Y. Influence of the design parameters of a hydraulic diode on its performance // *Russian Engineering Research*. 2019. Vol. 39, no. 3. P. 220–221. DOI: 10.3103/S1068798X19030122.
24. Кайгородов С. Ю. Визуализация течения рабочей жидкости через резистивный гидродиод прямоугольного сечения // *Вестник машиностроения*. 2020. № 3. С. 65–66. DOI: 10.36652/0042-4633-2020-3-65-66.
25. Пат. 2718196 С1 Российская Федерация, МПК G 05 D 7/01. Гидропневматический диод с закольцованным движением рабочей среды / Кайгородов С. Ю. № 2019131679; заявл. 08.10.19; опубл. 31.03.20, Бюл. 10.
26. Кайгородов С. Ю. Экспериментальное подтверждение возможности применения гидравлического диода в линии нагнетания прямоугольного роторного насоса // *Вестник машиностроения*. 2020. № 4. С. 56–58. DOI: 10.36652/0042-4633-2020-4-56-58.
27. Kaigorodov S. Yu. Working-liquid flow through a rectangular resistive fluid diode // *Russian Engineering Research*. 2020. Vol. 40, no. 6. P. 480–482. DOI: 10.3103/S1068798X20060143.
28. Килина М. С., Чернавский В. А. Динамика клапанных гидравлических амортизаторов // *Вестник донского государственного технического университета. Технические науки*. № S 2. С. 90–100.
29. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М., Л.: Госэнергоиздат, 1960. 464 с.
30. Лебедев И. В., Трескунов С. Л., Яковенко В. С. Элементы струйной автоматики. М.: Машиностроение, 1973. 359 с.
31. Носов Е. Ю., Краморов А. Г. Экспериментальное исследование характера стационарного потока // *Омский научный вестник*. 2007. № 3 (60). С. 50–52.
32. Chen T., Xu C., Ren Z. Optimal Boundary Control for Water Hammer Suppression in Fluid Transmission Pipelines // *Computers & Mathematics with Applications*. 2014. № 69 (4). P. 275–290. DOI: 10.1016/j.camwa.2014.11.008.
33. Dudlik A., Hahn, M., Kipp, G. Kavitation und Druckstöße im Griff: Ursachen für Rohrleitungsschäden abschätzen und minimieren. München: Publish-Industry Verlag, 2009. P. 188–190. ISBN 3-934698-63-8.
34. Ястребова Е. В. Струйные диоды (обзор) // *Автомат. и телемех.* 1971. № 3. С. 101–106.
35. Kulkarni A. A., Ranade V. V., Rajeev R. [et al.]. Pressure drop across vortex diodes: Experiments and design guidelines // *Chemical Engineering Science*. 2009. Vol. 64 (6). P. 1285–1292.

**КАЙГОРОДОВ Сергей Юрьевич**, старший преподаватель кафедры «Гидромеханика и транспортные машины» Омского государственного технического университета (ОмГТУ).

SPIN-код: 4982-0580

AuthorID (РИНЦ): 686382

ResearcherID: O-3019-2017

Адрес для переписки: sergey7-2005@mail.ru

**ШАПОШКОВ Александр Александрович**, студент гр. ЭМ-181 факультета транспорта, нефти и газа ОмГТУ.

Адрес для переписки: rudel.alexander@yandex

**ЦВЕТКОВ Иван Валерьевич**, адъюнкт кафедры электрооборудования и автоматики Омского автобронетанкового инженерного института.

Адрес для переписки: tsvet333@mail.ru

#### Для цитирования

Кайгородов С. Ю., Шапошков А. А., Цветков И. В. Методика расчета применения сопловых гидродиодов в конструкции двухтрубного гидравлического амортизатора // *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. 2020. Т. 4, № 4. С. 82–89. DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-4-82-89.

Статья поступила в редакцию 28.08.2020 г.

© С. Ю. Кайгородов, А. А. Шапошков, И. В. Цветков

## METHOD FOR CALCULATING THE USE OF NOZZLE HYDRODIODES IN DESIGN OF TWO-TUBE HYDRAULIC SHOCK ABSORBER

S. Yu. Kaigorodov<sup>1</sup>, A. A. Shaposhkov<sup>1</sup>, I. V. Tsvetkov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

<sup>2</sup>Omsk Tank-Automotive Engineering Institute,  
Russia, Omsk, Military 14th Town, 119, 644098

The development of a method for calculating the use of nozzle hydrodiodes in the design of a two-tube hydraulic shock absorber is carried out by considering such problems as the fragility and wear of movable elements (valves) in the design of a hydraulic shock absorber. The paper considers a method of calculation of the shock absorber with hydrodiodes (the fixed elements). The scientific novelty and task is to replace the movable hydraulic valves in the shock absorber design with nozzle hydraulic diodes, which, theoretically, will extend the service life of this unit, due to the lack of movement dynamics and wear of moving parts.

**Keywords:** hydraulic shock absorber, valve, herodium, local resistance, diode.

### References

1. Derbaremdiker A. D. *Gidravlicheskiye amortizatory avtomobiley* [Hydraulic shock absorbers for cars]. Moscow, 1969. 263 p. (In Russ.).
2. Patent UA 16951 Ukraine, IPC F 16 L 55/02. Klapan dlya zakhistu vid gidravlichnikh udariv [Valve for protection against hydraulic shocks] / Overko V. M., Zamko Yu. O., Overko M. V. No. 200510628. (In Ukr.).
3. Patent UA 68287 Ukraine, IPC F 25 B 41/00. Struminniy diod dlya teplovikh nasosiv [Jet diode for heat pumps] / Overko V. M., Selivra S. O., Overko M. V. [et al.]. No. 201109208. (In Ukr.).
4. Patent UA 75676 Ukraine, IPC F 25 B 41/00. Struminniy diod dlya teplovikh nasosiv [Jet diode for heat pumps] / Boyko M. G., Overko V. M., Overko M. V. [et al.]. No. 201206292. (In Ukr.).
5. Patent UA 75770 Ukraine, IPC F1 6 L 55/04. Strumenevii diod [Inkjet diode] / Kononenko A. P., Overko V. M., Overko M. V. [et al.]. No. 201207120. (In Ukr.).
6. Patent UA 79188 Ukraine, IPC F 16 L 55/02. Sposib gasinnya energii khvil' pri gidravlichnomu udari [Method of damping wave energy during hydraulic shock] / Kononenko A. P., Overko V. M., Ovsyannikov V. P. [et al.]. No. 201212886. (In Ukr.).
7. Patent UA 88736 Ukraine, IPC B 01 D 45/12. Strumenevii diod [Inkjet diode] / Kononenko A. P., Overko V. M., Overko M. V. [et al.]. No. 201313354. (In Ukr.).
8. Patent UA 89206 Ukraine, IPC F 16 K 15/00. Zvorotniy klapan [Check valve] / Kononenko A. P., Overko V. M., Ovsyannikov V. P. [et al.]. No. 201313668. (In Ukr.).
9. John L. Broughtin Fluid diode. US patent 20040031249; filed October 15th, 2003; published February 19th, 2004. (In Engl.).
10. Singh Param I. Vortex diode check valve with flexible diaphragm. US patent 425998A; filed September 17th, 1979; published April 07th, 1981. (In Engl.).
11. Patent 2593919 USSR, IPC G 05 D 7/01. Gidravlicheskiy ili pnevmaticheskii diod [Hydraulic or pneumatic diode] / Bolshtyanskiy A. P., Shcherba V. E., Nosov E. Yu., Kaygorodov S. Yu. No. 2015112264/28. (In Russ.).
12. Patent 2598125 USSR, IPC G 05 D 7/01. Gidravlicheskiy i pnevmaticheskii pryamotoknyy diod [Hydraulic and pneumatic direct flow diode] / Kaygorodov S. Yu., Bolshtyanskiy A. P., Shcherba V. E. No. 2015129270/11. (In Russ.).
13. Spiridonov E. K., Khabarova D. F. Paschetnaya model' i kharakteristiki besklapannogo porshnevoogo nasosa odnostoronnogo deystviya [Calculating model and characteristics single action valveless piston pump] // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Mashinostroyeniye». *Bulletin of the South Ural State University. Series Mechanical Engineering Industry*. 2014. Vol. 14, no. 4. P. 13–22. (In Russ.).
14. Spiridonov E. K., Khabarova D. F. Printsipial'nyye skhemy i kharakteristiki besklapannykh nasosov s vytesnitelem vozvratno-postupatel'nogo peremeshcheniya [Schematic diagrams and characteristics of valveless pumps with the displacer of reciprocating movement] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016. Vol. 18, no. 1-2. P. 309–313. (In Russ.).
15. Khabarova D. F., Podzerko A. V., Spiridonov E. K. Experimental investigation of fluidic diodes // *Procedia Engineering*. 2017. P. 93–98. DOI: 10.1016/J.PROENG.2017.10.443. (In Engl.).
16. Spiridonov E. K., Khabarova D. F. Gidrodinamika i kharakteristiki porshnevoogo nasosa s gidrodiodami [Hydrodynamics and characteristics of piston pump with fluidic diodes] // *Journal of Dynamics and Vibroacoustics*. 2015. Vol. 2, no. 2. P. 43–50. DOI: 10.18287/2409-4579-2015-2-2-43-50. (In Russ.).
17. Khabarova D. F., Podzerko A. V., Spiridonov E. K. Eksperimental'noye issledovaniye vikhrevykh diodov [Experimental study of vortex diodes] // *Prom-Inzhiniring. Prom-Inzhiniring. Chelyabinsk*, 2017. P. 9–12. (In Russ.).
18. Khabarova D. F., Spiridonov E. K. Ekstremal'nyye kharakteristiki i raschet besklapannykh porshnevnykh nasosov s gidravlicheskiimi diodami [Extreme characteristics and calculation of a valveless piston pump with fluidic diodes] // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. *Aerokosmicheskaya tekhnika. PNRPU Aerospace Engineering Bulletin*. 2018. No. 55. P. 52–60. DOI: 10.15593/2224-9982/2018.55.06. (In Russ.).
19. Kaygorodov S. Yu. Ispol'zovaniye gidrodiodov pri geometransfuzii [The use of hydrodiodes in blood transfusion] //

Aktual'nyye voprosy biomeditsinskoj inzhenerii. *Aktual'nyye Voprosy Biomeditsinskoj Inzhenerii*. Saratov, 2017. P. 100–102. ISBN 978-5-7433-3122-2. (In Russ.).

20. Kaygorodov S. Yu. Vliyaniye konstruktivnykh parametrov gidrodioda na ego diodnost' [Influence of structural parameters of a hydrodiode on its diodity] // *Vestnik mashinostroyeniya. Vestnik Mashinostroyeniya*. 2018. No. 12. P. 42–43. (In Russ.).

21. Patent 2683051 USSR, IPC F 04 B 19/06. Sposob raboty porshnevoego nasos-kompressora i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [Method of operating piston pump-compressor and device therefor] / Kaygorodov S. Yu. No. 2018118098. (In Russ.).

22. Patent 192060 USSR, IPC F 28 F 99/00. Sistema okhlazhdeniya teplonapryazhennykh komponentov nagrevayushchikhysya ustroystv [System cooling for heat-stressed components of heating devices] / Kaygorodov S. Yu. No. 20199115640. (In Russ.).

23. Kaigorodov S. Yu. Influence of the design parameters of a hydraulic diode on its performance // *Russian Engineering Research*. 2019. Vol. 39, no. 3. P. 220–221. DOI: 10.3103/S1068798X19030122. (In Engl.).

24. Kaigorodov S. Yu. Vizualizatsiya techeniya rabochey zhidkosti cherez rezistivnyy gidrodiod pryamougol'nogo secheniya [Visualization of the flow of working liquid through a resistive hydrodiode of rectangular section] // *Vestnik mashinostroyeniya. Vestnik Mashinostroyeniya*. 2020. No. 3. P. 65–66. DOI: 10.36652/0042-4633-2020-3-65-66. (In Russ.).

25. Patent 2718196 C1 USSR, IPC G 05 D 7/01. Gidropnevmaticheskiy diod s zakol'tsovannym dvizheniyem rabochey sredy [Hydropneumatic diode with looped movement of working medium] / Kaygorodov S. Yu. No. 2019131679. (In Russ.).

26. Kaygorodov S. Yu. Eksperimental'noye podtverzheniye vozmozhnosti primeneniya gidravlicheskogo dioda v linii nagnetaniya pryamozubogo rotnogo nasosa [Experimental confirmation of the possibility of using a hydraulic diode in the discharge line of a spur rotary pump] // *Vestnik mashinostroyeniya. Vestnik Mashinostroyeniya*. 2020. No. 4. P. 56–58. DOI: 10.36652/0042-4633-2020-4-56-58. (In Russ.).

27. Kaigorodov S. Yu. Working-liquid flow through a rectangular resistive fluid diode // *Russian Engineering Research*. 2020. Vol. 40, no. 6. P. 480–482. DOI: 10.3103/S1068798X20060143. (In Engl.).

28. Kilina M. S., Chernavskiy V. A. Dinamika klapannykh gidravlicheskikh amortizatorov [Dynamics of valvular hydraulic shock absorbers] // *Vestnik donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. Advanced Engineering Research*. No. S 2. P. 90–100. (In Russ.).

29. Idel'chik I. E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [Hydraulic resistance handbook]. Moscow, Leningrad, 1960. 464 p. (In Russ.).

30. Lebedev I. V., Treskunov S. L., Yakovenko V. S. Elementy struynoy avtomatiki [Elements of jet automation]. Moscow, 1973. 359 p. (In Russ.).

31. Nosov E. Yu., Kramorov A. G. Eksperimental'noye issledovaniye kharaktera statsionarnogo potoka [Experimental nature study of stationary flow of liquid through hydro diodes] // *Omskiy nauchnyy vestnik. Omsk Scientific Bulletin*. 2007. No. 3 (60). P. 50–52. (In Russ.).

32. Chen T., Xu C., Ren Z. Optimal Boundary Control for Water Hammer Suppression in Fluid Transmission Pipelines // *Computers & Mathematics with Applications*. 2014. No. 69 (4). P. 275–290. DOI: 10.1016/j.camwa.2014.11.008. (In Engl.).

33. Dudlik A., Hahn, M., Kipp, G. Kavitation und Druckstöße im Griff: Ursachen für Rohrleitungsschäden abschätzen und minimieren. München: Publish-Industry Verlag, 2009. P. 188–190. ISBN 3-934698-63-8. (In Germ.).

34. Yastrebova E. V. Struynnye diody (obzor) [Inkjet diodes (review)] // *Avtomatika i Telemekhanika. Avtomatika i Telemekhanika*. 1971. No. 3. P. 101–106. (In Russ.).

35. Kulkarni A. A., Ranade V. V., Rajeev R. [et al.]. Pressure drop across vortex diodes: Experiments and design guidelines // *Chemical Engineering Science*. 2009. Vol. 64 (6). P. 1285–1292. (In Engl.).

---

**KAIGORODOV Sergey Yurievich**, Senior Lecturer of Hydromechanics and Transport Machines Department, Omsk State Technical University (OmSTU).

SPIN-code: 4982-0580

AuthorID (RSCI): 686382

Address for correspondence: sergey7-2005@mail.ru

**SHAPOSHKOV Aleksandr Aleksandrovich**, Student, Gr. EM-181 of Transport, Oil and Gas Faculty, OmSTU.

Address for correspondence: rudel.alexander@yandex

**TSVETKOV Ivan Valerievich**, Adjunct of Electrical Equipment and Automation Department, Omsk Tank-Automotive Engineering Institute.

Address for correspondence: tsvet333@mail.ru

#### For citations

Kaigorodov S. Yu., Shaposhkov A. A., Tsvetkov I. V. Method for calculating the use of nozzle hydrodiodes in design of two-tube hydraulic shock absorber // *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2020. Vol. 4, no. 4. P. 82–89. DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-4-82-89.

Received August 28, 2020.

© S. Yu. Kaigorodov, A. A. Shaposhkov, I. V. Tsvetkov