

УДК 621.436.038

DOI 10.18698/0536-1044-2017-10-52-59

# Расходные характеристики клапанных распылителей топливных форсунок дизельных двигателей

Ю.Е. Хрящёв<sup>1</sup>, Л.Л. Иванов<sup>1</sup>, О.Н. Соколов<sup>1</sup>, П.В. Волощенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ярославский государственный технический университет, 150023, Ярославль, Российская Федерация, Московский пр-т, д. 88

<sup>2</sup> УГК АО «Ярославский завод дизельной аппаратуры» группы «ГАЗ», 150051, Ярославль, Российская Федерация, проспект Машиностроителей, д. 81

## The Flow Characteristics of Valve Atomizers in Diesel Fuel Injectors

Yu.E. Khryashchov<sup>1</sup>, L.L. Ivanov<sup>1</sup>, O.N. Sokolov<sup>1</sup>, P.V. Voloshchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yaroslavl State Technical University, 150023, Yaroslavl, Russian Federation, Moskovskiy Ave., Bldg. 88

<sup>2</sup> OAO Yaroslavl Diesel Equipment Plant, GAS Group, 150051, Yaroslavl, Russian Federation, Mashinostroitelny Ave., Bldg. 81



e-mail: khr.u.e@mail.ru, LevLeonid41@yandex.ru, sokol208@mail.ru, pavelvoloshhenko@yandex.ru



Одной из тенденций развития топливной аппаратуры дизельных двигателей является формирование высокорасходных кратковременных импульсов впрыска топлива. В большинстве случаев они осуществляются с помощью современной электронно-управляемой топливной аппаратуры аккумуляторного типа, где исполнительным устройством служат электроуправляемые форсунки, в которых традиционно применяются игольчатые распылители. Они достаточно хорошо изучены, однако имеют довольно сложную и дорогую конструкцию. Кроме них могут быть использованы штифтовые и клапанные распылители. Последние исследованы недостаточно, но с их помощью можно расширить технологические возможности процесса распыливания топлива. В связи с этим проведено исследование расходных характеристик клапанных распылителей. Показано, что у таких распылителей гидравлические характеристики лучше, чем у игольчатых. У них практически отсутствует зона, характеризующая потери эффективного проходного сечения.

**Ключевые слова:** дизельные двигатели, топливная форсунка, клапанный распылитель, расходная характеристика, распыливание топлива



The formation of high-flow, short-term pulses of fuel injection is the development trend of fuel equipment for diesel engines. In most cases, this is done using modern electronically controlled fuel injection equipment of the battery type where electronically controlled nozzles with needle atomizers serve as actuators. They are well researched but have a complex and expensive design. In addition to aforementioned type, pin and valve atomizers can be used. The latter ones are not sufficiently studied but could be used to significantly widen technological possibilities of the fuel injection process, hence the current research of the flow characteristics of valve fuel atomizers is conducted. It is shown that the hydraulic characteristics of valve atomizers surpass those of the needle type due to the near absence of a zone characterizing losses in the effective flow area.

**Keywords:** diesel engine, fuel injector, valve atomizer, flow characteristic, fuel atomization

Одна из тенденций развития топливной аппаратуры дизельных двигателей заключается в формировании высокорасходных кратковременных импульсов впрыска топлива [1, 2]. Для осуществления этого требования применяют быстродействующие электроуправляемые форсунки, в которых традиционно используют игольчатые распылители, т. е. распылители с запирающей иглой и сопловыми отверстиями. В таких распылителях топливо в процессе топливоподачи преодолевает два дросселирующих сечения: сначала в кольцевой щели между корпусом и иглой, а затем переходит в сопловые отверстия.

Поскольку электроуправляемые форсунки с игольчатыми распылителями закрытого типа задействованы в подавляющем большинстве типов современной топливоподающей аппаратуры, их изучению посвящено достаточно много публикаций [3–9]. В целях улучшения процесса топливоподачи в дизельных двигателях и энергоустановках, например летательных аппаратов, предложен вариант повышения быстродействия распылителей закрытого типа с применением неуправляемого дробящего впрыска [10]. Кроме того, проведены исследования работы форсунок с игольчатыми распылителями закрытого типа, оснащенных пьезоэлектриче-

ским приводом [11]. Известно также применение штифтовых распылителей [5].

Однако кроме игольчатых и штифтовых распылителей можно использовать и клапанные, конструкция которых содержит одно дросселирующее сечение — кольцевую щель между конусом корпуса и клапана. Они получили широкое распространение в бензиновых двигателях внутреннего сгорания. Глубокому и всестороннему исследованию клапанных распылителей посвящена работа [12]. О целесообразности применения этих распылителей в дизельных двигателях можно судить по результатам анализа патентной информации класса F02M62/08 (топливные форсунки с клапаном, открывающимся в направлении потока топлива), показавшим неослабевающий интерес специалистов к таким устройствам [13–20], причем конструкторское представление формы таких устройств отличается разнообразием [19]. С помощью клапанных распылителей можно расширить технологические возможности процесса распыливания топлива, например, реализовать явление гидравлического удара [21], использованное в форсунке А.В. Голубева [18], которая в процессе впрыскивания топлива позволяет повысить его давление. При этом расходные характеристики распылителей клапанного типа для дизельного топлива изучены мало.

Цель работы — исследование расходных характеристик клапанных распылителей и их сравнительный анализ с распылителями игольчатого типа.

Для сравнения расходных характеристик через щель между конусами корпуса и иглы серийного распылителя модели 262-01 (производства ОАО «ЯЗДА») проведена его доработка в соответствии с рис. 1, т. е. на корпусе удалена зона колодца с сопловыми отверстиями, а на игле — ступенчатый переход с дополнительным конусом при вершине (заштриховано). Испытания показали (рис. 2), что темп нарастания эффективного проходного сечения  $\mu_k f_k$  в зависимости от величины подъема иглы  $h_k$  у доработанного распылителя существенно больше, чем у серийного игольчатого, причем при подъеме иглы до 0,02 мм они практически совпадают, а затем резко расходятся. Объясняется это тем, что при подъеме иглы свыше 0,02 мм в серийном распылителе дросселирование топлива осуществляется сначала в кольцевой щели между корпусом и иглой, а затем переходит в сопловые отверстия.

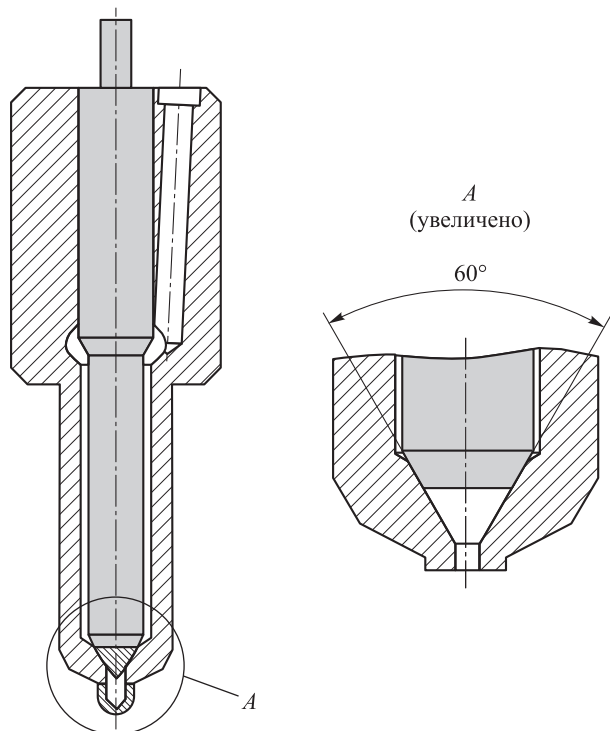


Рис. 1. Эскиз доработки распылителя (заштрихованное срезано)

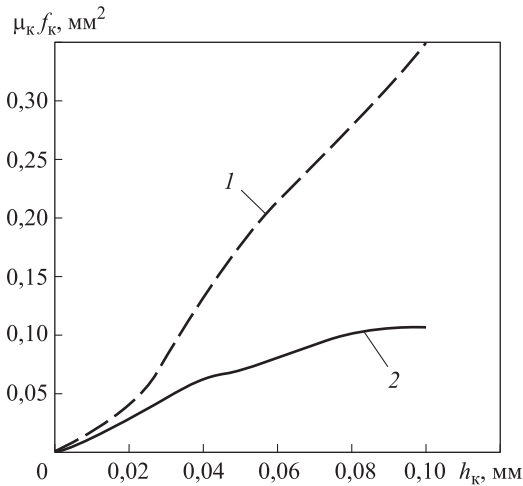


Рис. 2. Гидравлические характеристики доработанного (1) и серийного (2) распылителей

Для более подробного изучения расходных характеристик клапанного распылителя были изготовлены его образцы с различными значениями угла запорного конуса  $\varphi = 120, 90$  и  $60^\circ$ , и для всех вариантов рассчитаны значения минимальной площади проходного сечения, образованного между конусами корпуса и клапана, в зависимости от величины подъема клапана. Расчетное проходное сечение определено в соответствии со схемой (рис. 3): при неизменной величине подъема клапана  $h_k$  проходное сечение клапанной щели вдоль по потоку топлива непрерывно увеличивается, так как ограничено двумя коническими поверхностями (корпуса распылителя и непосредственно клапана).

В процессе эксперимента сделаны ограничения по давлению нагнетания топлива  $p_{np}$  в связи с ограниченными возможностями стенда для испытания распылителей. Подтверждено, что расход топлива  $Q$  прямо пропорционален эффективному проходному сечению (рис. 4):

$$Q = \mu_k f_k \sqrt{2\Delta p / \rho_T}$$

или

$$Q = K \mu_k f_k \sqrt{\Delta p},$$

где  $\Delta p$  — перепад давления топлива в сопловом канале;  $\rho_T$  — плотность топлива;  $K$  — коэффициент,  $K = \sqrt{2/\rho_T}$ .

При этом указанная пропорциональность характеризуется различными значениями коэффициента  $K$  для каждого из трех значений давления нагнетания топлива (10, 6 и 5 МПа), что может быть связано с изменением плотности топлива и характером его течения в кла-

панной щели. В связи с этим в дальнейшем использованы результаты, полученные только при давлении нагнетания топлива  $p_{np} = 10$  МПа. Зависимость эффективного проходного сечения  $\mu_k f_k$  от величины подъема клапана  $h_k$  приведена на рис. 5.

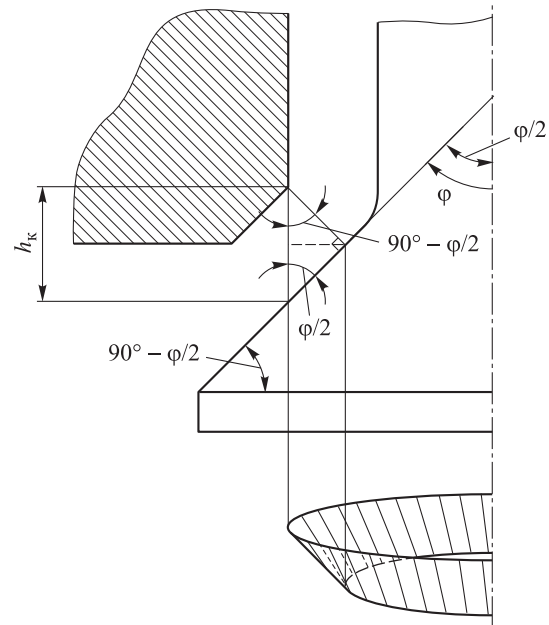


Рис. 3. К расчету минимальной площади проходного сечения в щели между конусами корпуса и клапана распылителя в зависимости от величины подъема клапана  $h_k$

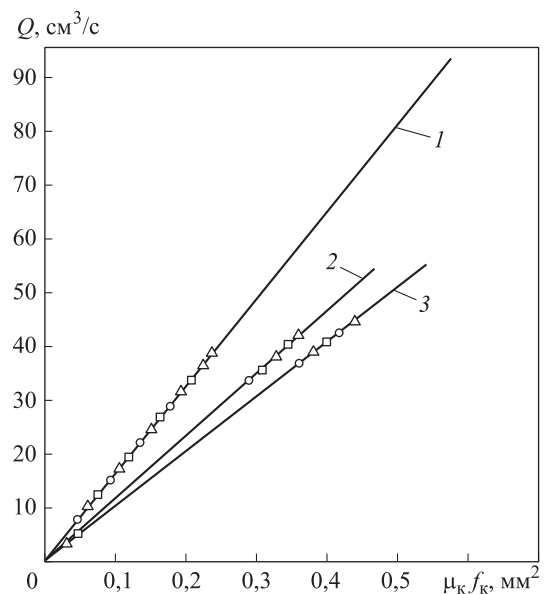


Рис. 4. Зависимость расхода топлива  $Q$  от эффективного проходного сечения  $\mu_k f_k$  при давлении нагнетания топлива  $p_{np} = 10$  (1), 6 (2) и 5 МПа (3) и различных значениях угла запорного конуса:  
○ —  $\varphi = 60^\circ$ ; △ —  $\varphi = 90^\circ$ ; □ —  $\varphi = 120^\circ$

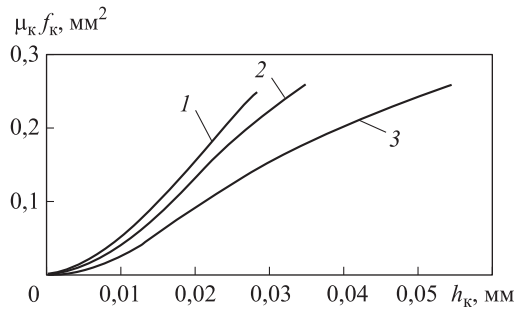


Рис. 5. Зависимость эффективного проходного сечения  $\mu_k f_k$  от величины подъема клапана  $h_k$  при  $p_{пр} = 10$  МПа и различных значениях угла запорного конуса:  
1 —  $\varphi = 120^\circ$ ; 2 —  $\varphi = 90^\circ$ ; 3 —  $\varphi = 60^\circ$

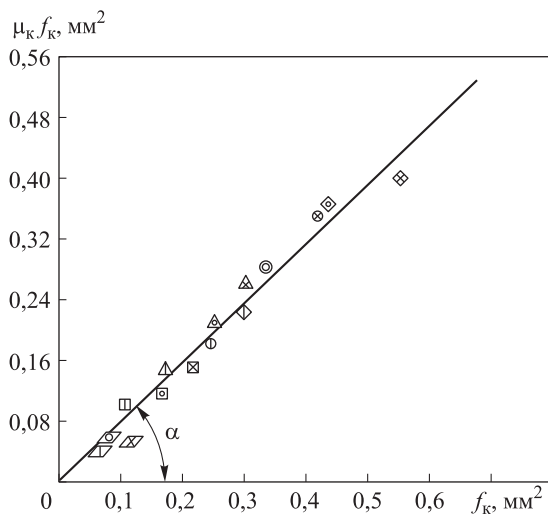


Рис. 6. Зависимость эффективного проходного сечения  $\mu_k f_k$  от площади дросселирующего сечения  $f_k$  при различных значениях величины подъема клапана и угла запорного конуса:  
◇ —  $h_k = 0,05$  мм; □ —  $h_k = 0,04$  мм; △ —  $h_k = 0,03$  мм;  
○ —  $h_k = 0,02$  мм; ▤ —  $h_k = 0,01$  мм;  
× —  $\varphi = 120^\circ$ ; ◊ —  $\varphi = 90^\circ$ ; ! —  $\varphi = 60^\circ$

Величина подъема клапана лишь косвенно характеризует проходное сечение, поэтому необходимо рассмотреть представленные зависимости в функции площади минимального (дросселирующего) проходного сечения, непосредственно определяющего расход. Результаты испытаний для клапанных распылителей при угле запорного конуса  $\varphi = 120, 90, 60^\circ$  представлены на рис. 6. Они могут быть аппроксимированы прямолинейной зависимостью  $\mu_k f_k = (f_k)$ , тангенс угла наклона которой характеризует среднее значение коэффициента расхода  $\mu_{к.ср}$  исследуемой группы клапанных распылителей  $\mu_{к.ср} = \text{tg } \alpha$ , причем  $\text{tg } \alpha = \mu_k f_k / f_k$  ( $f_k$  — площадь дросселирующего сечения).

Отсюда  $\mu_{к.ср} = 0,45/0,6 = 0,74$ . Согласно рис. 7, максимальное значение коэффициента расхода

$\mu_{к.макс} = 0,8$ . Аналогичным образом получим выражение для максимального коэффициента расхода серийного игольчатого распылителя

$$\mu_{с.макс} = \frac{\mu_{с} f_{с.макс}}{f_{с} i_{с}},$$

где  $\mu_{с} f_{с.макс}$  — максимальное значение эффективного проходного сечения серийного игольчатого распылителя;  $f_{с}$  и  $i_{с}$  — площадь сечения соплового отверстия и число отверстий серийного игольчатого распылителя.

Тогда если  $i_{с} = 7$  и  $f_{с} = 0,0314$  мм<sup>2</sup> при диаметре соплового отверстия  $d_{с} = 0,2$  мм, то

$$\mu_{с.макс} = \frac{0,134}{0,0314 \cdot 7} = 0,61.$$

Таким образом, средние значения  $\mu_{к.ср}$  больше  $\mu_{с.макс}$  на 19 %.

Коэффициент расхода  $\mu_k$  клапанного распылителя, зависящий от величины подъема клапана  $h_k$  и соответствующей (геометрической) площади проходного сечения, определяется по известному соотношению

$$\mu_k = k \Psi,$$

где  $k$  — коэффициент уменьшения скорости потока в клапанной щели;  $\Psi$  — коэффициент уменьшения геометрического проходного сечения.

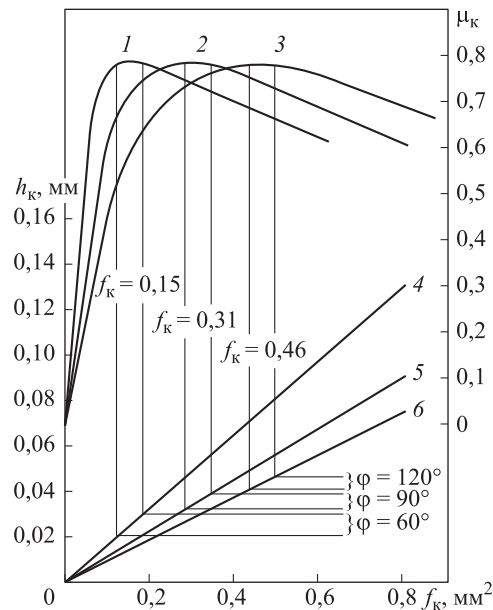


Рис. 7. Зависимость коэффициента расхода  $\mu_k$  (1-3) и величины подъема клапана  $h_k$  (4-6) от площади проходного сечения  $f_k$  в клапанной щели распылителя при различных значениях угла запорного конуса:  
1, 4 —  $\varphi = 60^\circ$ ; 2, 5 —  $\varphi = 90^\circ$ ; 3, 6 —  $\varphi = 120^\circ$

При учете геометрического сечения  $\Psi = 1$  полученные значения коэффициента расхода  $\mu_k$  фактически будут характеризовать коэффициент уменьшения скорости  $k$ . Вопрос определения действительного значения проходного сечения в клапанной щели, размеры которой меньше 0,1...0,2 мм, требует отдельного изучения. С другой стороны, возможно, увеличивающееся проходное сечение клапанной щели вдоль по потоку соответствует принятым условиям:  $\Psi = 1, \mu_k = k$ .

Анализ зависимости коэффициента расхода  $\mu_k$  и величины подъема клапана  $h_k$  от площади проходного сечения в клапанной щели распылителя (см. рис. 7) показывает следующее:

- экспериментально замеренные значения  $\mu_k$  изменяются от 0,5 до 0,8;

- максимальные значения  $\mu_{k\max}$  для исследованных распылителей одинаковы ( $\mu_{k\max} \cong 0,8$ ). С увеличением угла запорного конуса их зона смещается в сторону больших значений площади  $f_k$  и величины подъема клапана  $h_k$  примерно через равные промежутки  $f_k \cong 0,15...0,16$  мм;

- диапазоны величины подъема клапана  $h_k$ , соответствующие  $\mu_{k\max}$ , составляют:

- 0,02...0,03 мм для клапанов с углом  $\varphi = 60^\circ$ ;
- 0,032...0,039 мм для клапанов с углом  $\varphi = 90^\circ$ ;
- 0,04...0,046 мм для клапанов с углом  $\varphi = 120^\circ$ .

Значения величины подъема клапана  $h_k \cong 0,02...0,05$  мм являются оптимальными для обеспечения  $\mu_{k\max}$  в исследованных распылителях.

Характер изменения коэффициента расхода  $\mu_k$  клапанного распылителя в зависимости от площади проходного сечения  $f_k$  объясняется влиянием двух факторов: поворота потока в клапанной щели и минимальной (дросселирующей) площади проходного сечения. При относительно малых значениях величины подъема клапана  $h_k$  сильнее проявляется фактор поворота потока. Поэтому там, где он минимален, максимальное значение коэффициента расхода достигается раньше, несмотря на меньшую площадь дросселирующего сечения. С другой стороны, после достижения  $\mu_{k\max}$  становится существенным фактор площади дросселирующего сечения. Из рис. 7 видно, что, несмотря на больший геометрический угол конуса (т. е. поворот потока), значения  $\mu_k$  выше там, где

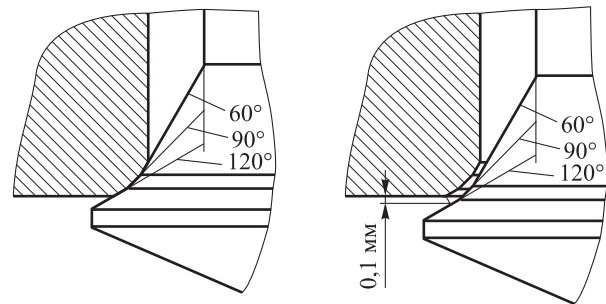


Рис. 8. Схема профилирования проточной части

больше проходное сечение даже при одинаковом подъеме клапана.

Максимальные значения коэффициента расхода имеют место при разной площади проходного сечения и величине подъема клапана. Для  $\varphi = 60^\circ$   $\mu_{k\max}$  имеет место при меньших значениях  $h_k$ , а для  $\varphi = 120^\circ$  — при больших  $h_k$ , несмотря на то что при одинаковом подъеме клапана проходное сечение при  $\varphi = 120^\circ$  больше, чем при  $\varphi = 60^\circ$ . Клапан с углом запорного конуса  $\varphi = 90^\circ$  занимает промежуточное положение.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что оптимальной формой клапанной щели может быть форма с переменным углом конуса (рис. 8), в которой к стержню клапана примыкает конус с углом  $\varphi = 60^\circ$ , переходящий сначала в конус с углом  $\varphi = 90^\circ$ , а затем в конус с углом  $\varphi = 120^\circ$ . С учетом того, что все три конуса следует выполнить на длине клапанной щели, равной примерно 0,5...1 мм, угол конуса должен плавно изменяться вдоль клапанной щели от 60 до 120°.

## Выводы

1. Показано, что у клапанных распылителей гидравлические характеристики лучше, чем у игольчатых. У них практически отсутствует зона, характеризующая потери эффективного проходного сечения.

2. Установлено, что у клапанных распылителей максимальное значение коэффициента расхода  $\mu_{k\max}$  на 20...30 % выше, чем у игольчатых.

3. При равных значениях величины подъема клапана и иглы клапанные распылители имеют в 2–3 раза больший диапазон изменения эффективного проходного сечения. Следовательно, один и тот же типоразмер клапанной форсунки в состоянии обеспечить значительно больший диапазон цикловых подач.

## Литература

- [1] Гальговский В.Р., Долецкий В.А., Малков Б.М. *Развитие нормативов ЕЭК ООН по экологии и формирование высокоэффективного транспортного дизеля*. Ярославль, Изд-во ЯГТУ, 1996. 171 с.
- [2] Tects Ch. Einspritzsysteme fur Dieselmotoren hoher Leistung. *VDI Berichte*, 1996, no. 1256, ss. 155–170.
- [3] Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. *Топливная аппаратура и системы управления дизелей*. Москва, Легион-Автодата, 2004. 344 с.
- [4] Мазинг М.В., Олисевиц О.В., Голубков Л.Н., Михальченко Д.А. Анализ эффективности форсунок аккумуляторных топливных систем с учетом их работы на дизельном и альтернативном топливах. *Труды НАМИ*, 2010, № 243, с. 117–126.
- [5] Марков В.А., Девянин С.Н., Мальчук В.И. *Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 360 с.
- [6] Марков В.А., Девянин С.Н., Зенин А.А., Ефанов А.А. Распылитель форсунки транспортного дизеля. *Строительные и дорожные машины*, 2010, № 1, с. 37–44.
- [7] Дунин А.Ю., Душкин П.В. Результаты испытаний аккумуляторных топливных систем дизелей с давлением впрыскивания до 300 МПа. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2016, № 1, с. 80–88.
- [8] Пигарина А.А. *Разработка и исследование электрогидравлической форсунки для аккумуляторной системы топливоподачи автомобильных быстроходных дизелей*. Дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2003. 200 с.
- [9] Шумовский В.А. *Улучшение показателей транспортного дизеля путем совершенствования процессов распыливания топлива и смесеобразования*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2016. 165 с.
- [10] Каюков С.С. *Повышение качества дробящего впрыска топлива в тепловых двигателях и энергоустановках летательных аппаратов*. Дис. ... канд. техн. наук. Самара, 2016. 145 с.
- [11] Прохоренко А.А., Самойленко Д.Е., Мешков Д.В. Оптимизация конструктивных параметров пьезоэлектрической дизельной форсунки. *Вести Автомобильно-дорожного института*, 2010, № 1(10), с. 47–53.
- [12] Schmid A. *Experimental characterization of the two phase flow of a Modern, piezo activated hollow cone injector*. PhD Diss. Zurich, 2012. 166 p.
- [13] Williams D.L. *Elektromagnetische diezel fuel injector*. Patent US no. 4360163, 1982.
- [14] Jochen Riefenstahl, Henning Teiwes, Gottfried Flik, Ottmar Martin. *Fuel injector valve*. Patent US no. 6098598, 2000.
- [15] Granar J., Mater M., Huebel M., Hohl G. *Vorrichtung Zurinspritzung von kraftstoff*. Patent WO2010/081582, 2010.
- [16] Гербау С., Ангере А., Левен Л. *Устройство для впрыска топлива и способ управления таким устройством*. Пат. 2439362 РФ, 2012.
- [17] Энгельберг Р. *Устройство впрыскивания топлива*. Пат. 2538146 РФ, 2015.
- [18] Голубев А.В., Сибекина О.А., Кубышкин В.П., Макейкин А.П. *Форсунка клапанного типа*. Пат. 2191284 РФ, 2002.
- [19] Голубев А.В., Сибекина О.А., Кубышкин В.П., Макейкин А.П. *Форсунка клапанного типа*. Пат. 2191285 РФ, 2002.
- [20] Хрящёв Ю.Е., Иванов Л.Л., Волощенко П.В. *Электроуправляемая форсунка для впрыскивания топлива в двигатель внутреннего сгорания*. Пат. 2540347 РФ, 2015.
- [21] Иванов Л.Л., Хрящёв Ю.Е., Волощенко П.В. Процессы преобразования энергии и динамическая система топливоподачи дизеля. *Известия ВолгГТУ*, 2013, вып. 5, № 12(115), с. 68–71.

## References

- [1] Gal'govskii V.R., Doletskii V.A., Malkov B.M. *Razvitie normativov EEK OON po ekologii i formirovanie vysokoeffektivnogo transportnogo dizelia* [The development of a UNECE regulation on ecology and the establishment of a highly efficient transport diesel]. Yaroslavl, YSTU publ., 1996. 171 p.

- [2] Tects Ch. Fuel injection systems for diesel engines, high read. *VDI reports*, 1996, no. 1256, pp. 155–170.
- [3] Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A. *Toplivnaia apparatura i sistemy upravleniia dizelei* [Fuel injection equipment and control systems of diesel engines]. Moscow, Legion-Avtodata publ., 2004. 344 p.
- [4] Mazing M.V., Olisevich O.V., Golubkov L.N., Mikhal'chenko D.A. Analiz effektivnosti forsunok akkumuliatornykh toplivnykh sistem s uchetom ikh raboty na dizel'nom i al'ternativnom toplivakh [The analysis of CR injector's efficiency for diesel engine fed by traditional and alternative fuels]. *Trudy NAMI* [Works NAMI]. 2010, no. 243, pp. 117–126.
- [5] Markov V.A., Devianin S.N., Mal'chuk V.I. *Vpryskivanie i raspylivanie topliva v dizeliakh* [The injection and atomization of fuel in diesel engines]. Moscow, Bauman Press, 2007. 360 p.
- [6] Markov V.A., Devianin S.N., Zenin A.A., Efanov A.A. Raspylitel' forsunki transportnogo dizelia [Injector nozzle diesel transport]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* [Construction and road building machinery]. 2010, no. 1, pp. 37–44.
- [7] Dunin A.Iu., Dushkin P.V. Rezul'taty ispytaniia akkumuliatornykh toplivnykh sistem dizelei s davleniem vpryskivaniia do 300 MPa [Test results of common rail fuel injection system for diesel engines with fuel pressure up to 3000 Bar]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering]. 2016, no. 1, pp. 80–88.
- [8] Pigarina A.A. *Razrabotka i issledovanie elektrogidravlicheskoj forsunki dlia akkumulatornoi sistemy toplivopodachi avtomobil'nykh bystrokhodnykh dizelei*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development and research of electrohydraulic injector for accumulator fuel system high-speed automotive diesel engines. Cand. tech. sci. diss.]. Vladimir, 2003. 200 p.
- [9] Shumovskii V.A. *Uluchshenie pokazatelei transportnogo dizelia putem sovershenstvovaniia protsessov raspylivaniia topliva i smeseobrazovaniia*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improvement in transport diesel engine by improving atomization of fuel and mixture formation. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2016. 165 p.
- [10] Kaiukov S.S. *Povyshenie kachestva drobiashchego vpryska topliva v teplovykh dvigateliakh i energoustanovkakh letatel'nykh apparatov*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving the quality of crushing of the fuel injection in thermal engines and power installations of aircrafts. Cand. tech. sci. diss.]. Samara, 2016. 145 p.
- [11] Prokhorenko A.A., Samoilenko D.E., Meshkov D.V. Optimizatsiia konstruktivnykh parametrov p'ezoelektricheskoi dizel'noi forsunki [Design Factors Optimization of the Piezoelectric Diesel Injector]. *Vesti Avtomobil'no-dorozhnogo instituta* [Bulletin of the Automobile and Highway Institute]. 2010, no. 1(10), pp. 47–53.
- [12] Schmid A. *Experimental characterization of the two phase flow of a Modern, piezo activated hollow cone injector*. PhD Diss. Zurich, 2012. 166 p.
- [13] Williams D.L. *Elektromagnetic diesel fuel injector*. Patent US no. 4360163, 1982.
- [14] Jochen Riefenstahl, Henning Teiwes, Gottfried Flik, Ottmar Martin. *Fuel injector valve*. Patent US no. 6098598, 2000.
- [15] Granar J., Mater M., Huebel M., Hohl G. *Vorrichtung Zurinspritzung von kraftstoff*. Patent WO2010/081582, 2010.
- [16] Gerbau S., Angere A., Leven L. *Ustroistvo dlia vpryska topliva i sposob upravleniia takim ustroistvom* [Device for fuel injection and method of controlling such a device]. Patent RU no. 2439362, 2012.
- [17] Engel'berg R. *Ustroistvo vpryskivaniia topliva* [The device of injection of fuel]. Patent RU no. 2538146.
- [18] Golubev A.V., Sibekina O.A., Kubyshkin V.P., Makeikin A.P. *Forsunka klapannogo tipa* [Injector valve]. Patent RU no. 2191284, 2002.
- [19] Golubev A.V., Sibekina O.A., Kubyshkin V.P., Makeikin A.P. *Forsunka klapannogo tipa* [Injector valve]. Patent RU no. 2191285, 2002.
- [20] Khriashchev Iu.E., Ivanov L.L., Voloshchenko P.V. *Elektropravliaemaia forsunka dlia vpryskivaniia topliva v dvigatel' vnutrennego sgoraniia* [Electrically-controlled injector for fuel injection in internal combustion engine]. Patent RU no. 2540347, 2015.

- [21] Ivanov L.L., Khriashchev Iu.E., Voloshchenko P.V. Protsessy preobrazovaniia energii i Dinamicheskaia sistema toplivopodachi dizelia [The energy conversion processes and the Dynamic fuel injection system of a diesel engine]. *Izvestiia VolgGTU* [Izvestiya VolgSTU]. 2013, is. 5, no. 12(115), pp. 68–71.

Статья поступила в редакцию 15.06.2017

## Информация об авторах

**ХРЯЩЁВ Юрий Евгеньевич** (Ярославль) — доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания». Ярославский государственный технический университет (150023, Ярославль, Российская Федерация, Московский пр-т, д. 88, e-mail: khr.u.e@mail.ru).

**ИВАНОВ Лев Леонидович** (Ярославль) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания». Ярославский государственный технический университет (150023, Ярославль, Российская Федерация, Московский пр-т, д. 88, e-mail: LevLeonid41@yandex.ru).

**СОКОЛОВ Олег Николаевич** (Ярославль) — аспирант кафедры «Двигатели внутреннего сгорания». Ярославский государственный технический университет (150023, Ярославль, Российская Федерация, Московский пр-т, д. 88, e-mail: sokol208@mail.ru).

**ВОЛОЩЕНКО Павел Валентинович** (Ярославль) — инженер-конструктор УГК АО «Ярославский завод дизельной аппаратуры» группы «ГАЗ» (150051, Ярославль, Российская Федерация, пр-т Машиностроителей, д. 81, e-mail: pavelvoloshhenko@yandex.ru).

## Information about the authors

**KHRYASHCHOV Yuriy Evgenievich** (Yaroslavl) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Internal Combustion Engines. Yaroslavl State Technical University (150023, Yaroslavl, Russian Federation, Moskovskiy Ave., Bldg. 88, e-mail: khr.u.e@mail.ru).

**IVANOV Lev Leonidovich** (Yaroslavl) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Internal Combustion Engines. Yaroslavl State Technical University (150023, Yaroslavl, Russian Federation, Moskovskiy Ave., Bldg. 88, e-mail: LevLeonid41@yandex.ru).

**SOKOLOV Oleg Nikolaevich** (Yaroslavl) — Postgraduate, Department of Internal Combustion Engines. Yaroslavl State Technical University (150023, Yaroslavl, Russian Federation, Moskovskiy Ave., Bldg. 88, e-mail: sokol208@mail.ru).

**VOLOSHCHENKO Pavel Valentinovich** (Yaroslavl) — Design Engineer, OAO Yaroslavl Diesel Equipment Plant, GAS Group (150051, Yaroslavl, Russian Federation, Mashinostroitelny Ave., Bldg. 81, e-mail: pavelvoloshhenko@yandex.ru).



### В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышло в свет учебное пособие **С.А. Харитонов, А.А. Ципилева** «Динамика механических систем»

Рассмотрены вопросы исследования колебаний в механических системах. Представлены методики определения параметров движения колебательных систем с одной степенью свободы, с конечным числом степеней свободы, а также систем с распределенными параметрами. Уделено внимание вопросам устойчивости колебательных процессов механических систем, приведены критерии устойчивости, рассмотрены типовые схемы нагружения узлов и конструкций транспортных машин. Изложены методы исследования вибрационных воздействий и способы борьбы с вибрациями. Даны рекомендации по конструированию виброзащитных механизмов.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru