



УДК 621.436.038
ББК 39.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОФИЛЯ КУЛАЧКА ПРИВОДА НАСОС-ФОРСУНКИ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ КЛАПАНОМ НА ПАРАМЕТРЫ ЕЕ ПРОЦЕССА ТОПЛИВОПОДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Курапин Алексей Викторович

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автотракторные двигатели»
Волгоградского государственного технического университета
atd@vstu.ru
просп. им. В.И. Ленина, 28, 400005 г. Волгоград, Российская Федерация

Гостевская Ольга Владиславовна

Старший преподаватель кафедры вычислительной техники
Волгоградского государственного технического университета
vt@vstu.ru
просп. им. В.И. Ленина, 28, 400005 г. Волгоград, Российская Федерация

Сторожаков Станислав Юрьевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры электрификации и электроснабжения
Волгоградского филиала
Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)
ppsts@rambler.ru
ул. им. Милиционера Буханцева, 48, 400120 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Представлено математическое описание процесса топливоподачи в насос-форсунках с электромагнитным клапаном, показаны некоторые результаты оптимизации параметров топливоподачи при варьировании показателей профиля кулачка привода насос-форсунки.

Ключевые слова: насос-форсунка, топливоподача, электромагнитный клапан, профиль кулачка, математическое моделирование.

Проектирование, изготовление и доводка насос-форсунок является достаточно трудоемким и дорогостоящим процессом. Значительно сократить время и стоимость работ позволяет применение математического моделирования процесса топливоподачи в них. Кроме того, это позволяет проводить

быструю оптимизацию параметров процесса топливоподачи.

Для насос-форсунки с электромагнитным клапаном (см. рис. 1) математическое описание процесса впрыскивания содержит три уравнения.

Уравнение баланса топлива в насос-форсунке:

$$6n(\beta V_\phi + k_{np} f_n^2) \frac{dp_\phi}{d\phi} = C_n f_n - \mu_u f_u \sqrt{\frac{2}{\rho} \sqrt{p_\phi - p_c}} - \mu_0 f_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} \sqrt{p_\phi - p_{ac}}} - \mu_c f_c \sqrt{\frac{2}{\rho} \sqrt{p_c - p_u}} - 6n(f_u - f_u') \frac{dy_u}{d\phi}, \quad (1)$$

где β – коэффициент сжимаемости топлива; C_n – скорость плунжера; f_n – площадь плунжера; V_ϕ – объем топлива сжимаемого в камерах распылителя; n – частота вращения кулачкового вала; ϕ – угол поворота кулачкового вала; p_ϕ – давление в камере распылителя; ρ – плотность топлива; k_{np} – коэффициент деформации привода; μ_u – коэффициент расхода проходного сечения под запирающим конусом иглы; μ_0 – коэффициент расхода всасывающих окон форсунки; f_0 – площадь проходного сечения всасывающего окна; μ_c – коэффициент расхода через суммарное проходное сечение сопловых отверстий распылителя; f_c – суммарная площадь сопловых отверстий распылителя; p_{ac} – давление в подающей (сливной) магистрали; f_u – площадь сечения иглы форсунки по диаметру ее прецизионной части; f_u' – площадь сечения иглы форсунки по посадочному диаметру; y_u – текущее перемещение иглы; p_u – давление газов в цилиндре двигателя; p_c – давление в сопловом канале распылителя.

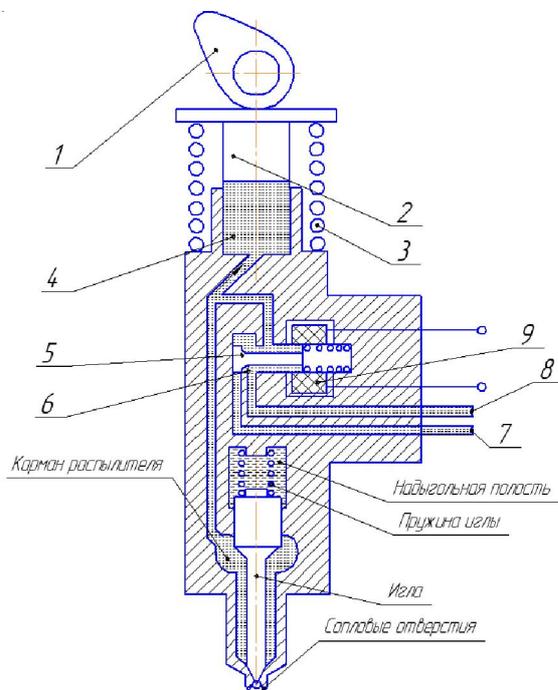


Рис. 1. Расчетная схема насос-форсунки:

- 1 – кулачок привода насос-форсунки; 2 – плунжер;
- 3 – пружина; 4 – камера высокого давления; 5 – игла клапана; 6 – камера электромагнитного клапана;
- 7 – канал подвода топлива; 8 – канал отвода топлива;
- 9 – катушка электромагнита

Уравнение расхода топлива через распылитель:

$$6n(\beta V_\phi) \frac{dp_c}{d\phi} = \mu_u f_u \sqrt{\frac{2}{\rho} \sqrt{p_\phi - p_c}} - \mu_c f_c \sqrt{\frac{2}{\rho} \sqrt{p_c - p_u}} - 6n f_u' \frac{dy_u}{d\phi}, \quad (2)$$

Уравнение перемещения иглы форсунки:

$$6nM \frac{d^2 y_u}{d\phi} + \delta y_u = (f_u - f_u')(p_\phi - p_{\phi 0}) + f_u p_c, \quad (3)$$

где M – масса подвижных частей форсунки; δ – жесткость пружины форсунки; $p_{\phi 0}$ – давление над торцом иглы.

Процесс топливоподачи разбивается на шесть этапов, для каждого из которых уравнение баланса (1) будет иметь свой вид. Скорость плунжера C_n рассчитывается в зависимости от участка профиля на каждом шаге интегрирования процесса топливоподачи и зависит от параметров кулачка привода насос-форсунки, которые вводятся в модель.

Представленная математическая модель насос-форсунки с электромагнитным клапаном управления подачей топлива была реализована в системе компьютерного программирования С#.

С помощью представленной модели было исследовано влияние некоторых параметров профиля кулачка на показатели процесса впрыскивания. Например, на рисунке 2 показаны расчетные зависимости давления впрыскивания топлива и расхода через сопловые отверстия от угла поворота кулачкового вала при варьировании параметров тангенциального профиля кулачка. Из представленных зависимостей наиболее оптимальный профиль получается при значениях $R_0 = 30$ мм и $R_1 = -100$ мм, при которых удовлетворяются ограничения по контактным напряжениям между кулачком и толкателем, по оптимальному углу давления профиля и достигаются высокие максимальные давления впрыскивания топлива – 148 МПа. Данный профиль обеспечивает резкий подъем плунжера на первом участке и более плавный подъем на втором участке, что позволяет получить пологий передний фронт нарастания давления впрыскивания и способствует снижению жесткости и шумности работы и выбросов NO_x .

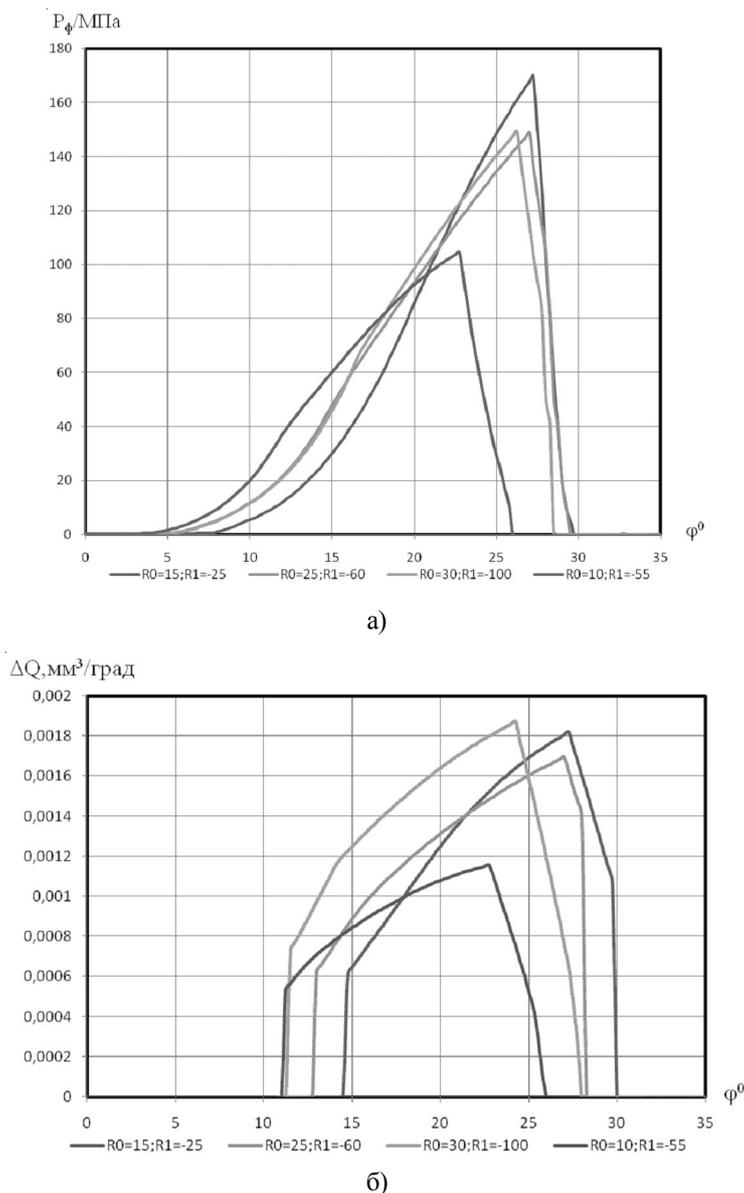


Рис. 2. Зависимости давления впрыскивания P_ϕ (а) и расхода топлива через сопловые отверстия ΔQ (б) от угла поворота кулачка ϕ при варьировании радиуса начальной окружности R_0 (мм) и радиуса кривизны первого участка профиля R_1 (мм)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев, А. В. Профилирование высокоэффективных кулачков газораспределения двигателей внутреннего сгорания / А. В. Васильев, Ю. С. Бахрачева, У. Каборе // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10, Инновационная деятельность. – 2013. – №2. – С. 96–102.

2. Курапин, А. В. Компьютерное моделирование процесса топливоподачи в насос-форсунках с электромагнитным клапаном / А. В. Курапин, О. В. Гостевская // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2013. – Т. 1. – С. 450–452.

3. Марков, В. А. Конструкция форсунки и показатели транспортного дизеля / В. А. Марков, С. Н. Девятин, В. И. Мальчук // Двигателестроение. – 2005. – №2. – С. 45–47.

4. Подача и распыливание топлива в дизелях / И. В. Астахов, В. И. Трусов, А. С. Хачиян [и др.]. – М.: Машиностроение, 1971. – 359 с.

5. Bakhacheva, J. S. Fracture toughness prediction by means of indentation test / J. S. Bakhacheva // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2013. – Vol. 9, N3. – P. 21–24.

6. Valve cam design using numerical step-by-step method / A. V. Vasilyev, Yu. S. Bakhracheva, O. Kabore, Yu. O. Zelenskij // Вестник Волгоградского

государственного университета. Серия 10, Инновационная деятельность. – 2014. – № 1 (10). – С. 26–33.

REFERENCES

1. Vasilyev A.V., Bakhracheva Yu.S., Kabore U. Profilirovanie vysokoeffektivnykh kulachkov gazoraspredeleniya dvigateley vnutrennego sgoraniya [The Profiling of Highly Effective Cams of Gas Distribution in Internal Combustion Engines]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10, Innovatsionnaya deyatel'nost* [Science Journal of Volgograd State University. Technology and Innovations], 2013, no. 2, pp. 96-102.

2. Kurapin A.V., Gostevskaya O.V. Kompyuternoe modelirovanie protsessa toplivopodachi v nasos-forsunkakh s elektromagnitnym klapanom [Computer Modeling of the Fuel Feeding Process in the Force Pumps with the Electromagnetic Valve]. *Innovatsii na*

osnove informatsionnykh i kommunikatsionnykh tekhnologiy, 2013, vol. 1, pp. 450-452.

3. Markov V.A., Devyatin S.N., Malchuk V.I. Konstruktsiya forsunki i pokazateli transportnogo dizelya [The Design of a Nozzle and Indicators of the Transport Diesel]. *Dvigatelistroenie*, 2005, no. 2, pp. 45-47.

4. Astakhov I.V., Trusov V.I., Khachiyani A.S. et al. *Podacha i raspylivanie topliva v dizelyakh* [Delivery and Pulverization of Fuels in Diesels]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1971. 359 p.

5. Bakhracheva Yu.S. Fracture Toughness Prediction by Means of Indentation Test. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2013, vol. 9, no. 3, pp. 21-24.

6. Vasilyev A.V., Bakhracheva Yu.S., Kabore O., Zelenskiy Yu.O. Valve Cam Design Using Numerical Step-by-Step Method. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10, Innovatsionnaya deyatel'nost* [Science Journal of Volgograd State University. Technology and Innovations], 2014, no. 1 (10), pp. 26-33.

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF THE PROFILE OF FORCE PUMP DRIVE CAM WITH THE ELECTROMAGNETIC VALVE ON THE PARAMETERS OF ITS FUEL DELIVERY PROCESS WITH THE USE OF MATHEMATICAL MODELLING

Kurapin Aleksey Viktorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Car-and-Tractor Engines, Volgograd State Technical University
atd@vstu.ru
Prosp. Lenina, 28, 400005 Volgograd, Russian Federation

Gostevskaya Olga Vladislavovna

Assistant Professor, Department of Computer Science, Volgograd State Technical University
vt@vstu.ru
Prosp. Lenina, 28, 400005 Volgograd, Russian Federation

Storozhakov Stanislav Yuryevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electrification and Power Supply, Volgograd branch of Moscow State University of Communication Means
ppsts@rambler.ru
Bukhantseva St., 48, 400120 Volgograd, Russian Federation

Abstract. The article presents the mathematical description of fuel delivery process in force pumps with electromagnetic valve and shows some results of the optimization of fuel delivery parameters under condition of varying profile indicators of force pump drive cam.

Key words: force pump, fuel delivery, electromagnetic valve, drive cam, mathematical modelling.