

АНАЛИЗ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ФОРСУНОК ДВС

ANALYSIS OF HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF SPRAYS OF NOZZLES OF ICE

С.В. АЛТУХОВ, к.т.н.
С.Н. ШУХАНОВ, д.т.н.

Иркутский государственный аграрный университет
им. А.А. Ежовского, г. Иркутск, Россия, Shuhanov56@mail

S.V. ALTUKHOV, PhD in Engineering
S.N. SHUKHANOV, DSc in Engineering

Irkutsk State Agrarian University n.a. Aleksandr Ezhevskiy,
Irkutsk, Russia, Shuhanov56@mail.ru

Автотракторная техника играет важную роль в техническом обеспечении агропромышленного комплекса на современном этапе развития сельскохозяйственного производства. Основным источником энергии этих машин являются двигатели внутреннего сгорания, на работу которых существенное влияние оказывают распылители форсунок. Всестороннее изучение качественных показателей их функционирования позволяет найти новые практические и теоретические решения. При исследовании гидродинамических характеристик распылителей форсунок использовали расчетно-теоретический анализ. При замене штифтовых распылителей в вихрекамерном дизеле на многоструйные были выполнены исследования гидродинамических показателей процесса впрыскивания топлива. Испытывались три типа распылителей. Исследуемые распылители отличаются друг от друга величиной проходного сечения, массой иглы, размерами и расположением отверстий. Это обуславливает различные величины давления подачи топлива, частоты колебаний иглы распылителя и других параметров. Полученные расчетные зависимости показывают, что с увеличением проходного сечения при постоянном остаточном давлении критическое давление волны подачи топлива увеличивается. Так, при остаточном давлении 3 МПа критическое давление волны составляет, соответственно, 10, 14,4, 16,7 МПа для распылителей трех типов. Повышение остаточного давления вызывает увеличение критического давления волны подачи. В связи с необходимостью увеличения критического давления волны подачи топлива для многоструйных распылителей (по сравнению с штифтовыми) рассмотрим влияние давления затяжки пружины форсунки на время запаздывания открытия иглы. Представлены результаты расчета запаздывания открытия иглы форсунки для штифтовых и многоструйных распылителей. Исследования показывают, что величина запаздывания подъема иглы форсунки с многоструйным распылителем при давлении начала впрыскивания $P_3 = 15$ МПа наиболее близка по значению к величине запаздывания для штифтового распылителя. Итог выявил, что величина частоты собственных колебаний и их продолжительности незначительно отличаются друг от друга (не более 5 %). Отсюда можно предположить, что применение экспериментальных распылителей не окажет значительного влияния на работу распылителей с точки зрения вибрационных характеристик.

Ключевые слова: гидродинамические характеристики, анализ распылителей, расчетно-теоретический метод, форсунки, двигатель внутреннего сгорания.

The automotive and tractor machinery plays an important role in technical support of agro-industrial complex at the present stage of development of agricultural production. The main energy source of these vehicles are internal combustion engines, which work is influenced highly by spraying nozzles. A comprehensive study of the qualitative indicators of their functioning allowed authors to find new practical and theoretical solutions. In the study of the hydrodynamic characteristics of spraying nozzles, a theoretical analysis was used. When replacing bayonet sprinklers in the vortex chamber diesel with multi-jet, the hydrodynamic parameters of the fuel injection process were performed. Three types of sprays were tested. The studied sprayers differ from each other in the size of a flow section, mass of a needle, the sizes and a location of the holes. It causes various sizes of delivery pressure of fuel, an oscillation frequency of a needle of the sprayer and other parameters. The received calculated dependences show that with increase in a flow section with a constant residual pressure critical pressure of a wave of supply of fuel increases. So with a residual pressure of 3 MPas critical pressure of a wave makes respectively 10, 14,4, 16,7 MPas for sprays of three types. Increase in residual pressure causes increase in critical pressure of a supply wave. Due to the need of increase in critical pressure of a fuel supply wave for multiple-jet sprayers (in comparison with bayonet) we will consider influence of the nozzle spring tension pressure on the needle opening delay time. Results of calculation of delay of opening of a needle of a nozzle for bayonet and multiple-jet sprays are presented. Studies show that the size of delay of raising of a needle of a nozzle with the multiple-jet spray with a pressure of the beginning of injection $P_2 = 15$ mpa is closest to delay size for the bayonet spray. The result revealed that the frequency of natural oscillations and their duration slightly differ from each other (no more than 5 %). Hence it can be assumed that the use of the experimental sprayers will not exert the considerable impact on operation of sprayers from the point of view of vibration characteristics.

Keywords: hydrodynamic characteristics, analysis of sprays, calculated and theoretical method, nozzles, internal combustion engine.

Введение

Инновационное развитие сельскохозяйственного производства предполагает создание средств технического обеспечения, отвечающих современным требованиям. Одним из ключевых аспектов в этом плане является транспортное сопровождение агропромышленного комплекса. При совершенствовании автотракторной техники [1–6] особое внимание уделяется двигателям внутреннего сгорания как основному источнику энергии. Качество распылителей форсунок оказывают существенное влияние на качество работы ДВС.

Материал и методы исследования

При исследовании показателей гидродинамических характеристик распылителей форсунок использовали расчетно-теоретический анализ.

Результаты исследования

В дизельных двигателях применяются штифтовые или многоструйные распылители форсунок в зависимости от способа смесеобразования и конструкции камеры сгорания. Большинство дизельных двигателей имеют неразделенную камеру сгорания с многоструйными распылителями форсунок. Реже применяются дизельные двигатели с разделенными камерами сгорания (вихрекамерные и предкамерные) с штифтовыми распылителями.

При замене штифтовых распылителей в вихрекамерном дизеле на многоструйные нами были выполнены исследования гидродинамических показателей процесса впрыскивания топлива в связи с различными величинами размеров, массы, проходного сечения и расположения распыливающих отверстий штифтового и многоструйного распылителей.

Исследовались три типа распылителей, основные характеристики которых приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, исследуемые распылители отличаются друг от друга величиной проходного сечения, массой иглы, размерами и расположением распыливающих отверстий. Это обуславливает различные величины давления подачи топлива, частоты колебаний иглы распылителя и других параметров. Проанализируем это.

Известно, что для качественного впрыскивания давление подаваемого P_T топлива должно быть выше давления топлива в форсунке P_Φ [7]:

$$P_T = P_0 + P_{F_{\text{крит}}}^l + P_{\text{обр.в}} > P_\Phi, \quad (1)$$

где P_0 – остаточное давление в топливопроводе, МПа; $P_{F_{\text{крит}}}^l$ – критическое давление волны подачи топлива, МПа; $P_{\text{обр.в}}$ – давление обратной волны, МПа; P_Φ – давление топлива в форсунке, МПа.

Величина остаточного давления P_0 для современных топливных систем находится в интервале 1...7 МПа.

Критическое давление волны подачи топлива $P_{F_{\text{крит}}}^l$ – это основная составляющая в уравнении (1), определяемая формулой:

$$P_{F_{\text{крит}}}^l = 0,5 \cdot P_{\text{кр}} + P_{\text{кр}} \cdot \sqrt{0,25 + \frac{P_0 - P_T}{P_{\text{кр}}}},$$

где $P_{\text{кр}}$ – критическое значение давления волны подачи топлива для открытой форсунки, МПа; P_T – давление газов в цилиндре, МПа.

Здесь давление $P_{\text{кр}}$ равно:

$$P_{\text{кр}} = 0,204 \frac{(\mu f)^2}{q^2} a^2 \cdot \rho,$$

где μf – эффективное проходное сечение распылителя, мм²; q – сечение трубопровода высокого давления, мм²; a – скорость распро-

Таблица 1

Основные характеристики распылителей

	Параметры распылителей		Марка распылителя		
			РШ-6-2х25	5х0,35х130	5х0,4х120
1	Объем топлива в распылителе, V_p	мм ³	730	722	722
2	Кольцевое сечение иглы (дифференциальная площадка), f_i	мм ²	23,7	26,4	26,4
3	Масса иглы, m_i	г	6	6,4	6,55
4	Проходное сечение, μf_p	мм ²	0,5±0,03	0,6±0,03	0,66±0,03

странения волны, равная скорости распространения звука в топливе, м/с; ρ – плотность топлива, кг/м³;

Расчетные зависимости $P_{F.крит}^1$ от остаточного давления P_0 и от величины проходного сечения распылителей μf приведены на рис. 1 и 2.

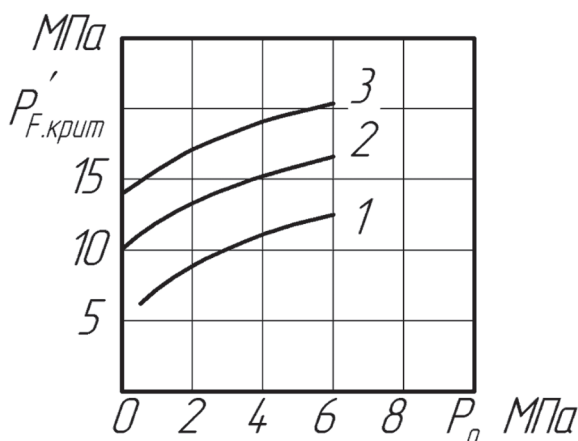


Рис. 1. Зависимость критического давления волны подачи топлива $P_{F.крит}^1$ от остаточного давления P_0 : 1 – $\mu f = 0,5 \text{ мм}^2$; 2 – $\mu f = 0,6 \text{ мм}^2$; 3 – $\mu f = 0,66 \text{ мм}^2$

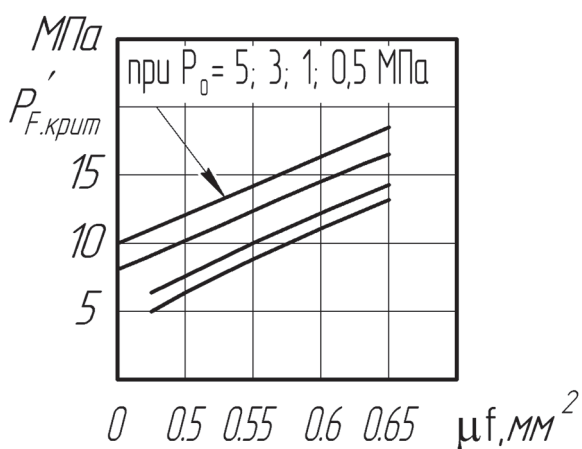


Рис. 2. Зависимость критического давления волны подачи топлива $P_{F.крит}^1$ от величины проходного сечения распылителя

Приведенные расчетные зависимости показывают, что с увеличением проходного сечения при постоянном остаточном давлении критическое давление волны подачи топлива увеличивается. Так, при остаточном давлении $P_0 = 3 \text{ МПа}$ критическое давление волны для распылителей № 1, 2, 3 (табл. 1) составляет, соответственно, 10, 14,4, 16,7 МПа

Повышение остаточного давления P_0 в свою очередь вызывает увеличение критического давления волны подачи (рис. 2).

В связи с необходимостью увеличения критического давления волны подачи топлива для многоструйных распылителей (по сравнению с штифтовыми) рассмотрим влияние давления затяжки пружины форсунки на время запаздывания открытия иглы.

Время запаздывания открытия иглы форсунки равно:

$$\tau_0 = \frac{V(C_0 + R_0 - P_0 \cdot f_n)}{f_n \cdot f_c \cdot V_c \cdot E}$$

где $V = V_1 + 0,5 \cdot V_2$ – объем топлива, м³; V_1 – объем топлива внутри форсунки, м³; V_2 – объем топлива в ТВД (топливопроводе высокого давления), м³; R_0 – сила трения иглы форсунки в начальный момент, Н; C_0 – сила предварительного поджатия пружины, Н; P_0 – остаточное давление в топливопроводе, Па; f_n – кольцевое сечение иглы распылителя, м²; f_c – входное сечение канала форсунки, м²; V_c – интенсивность подходящей скорости волны, м/с; E – модуль упругости топлива, $E = 2 \cdot 10^9 \text{ Па}$.

Соответствующий угол запаздывания открытия иглы форсунки равен:

$$\varphi_0 = 6 \cdot n \cdot \tau_0$$

где n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹.

Результаты расчета запаздывания открытия иглы форсунки для штифтовых и многоструйных распылителей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета запаздывания открытия иглы распылителя форсунки

Параметры	Штифтовый РШ-6х2х25	Многоструйный		
		5х0,35х130		5х0,4х120
Давление начала впрыскивания, P_3 (МПа)	13	13	15	17
Время запаздывания, τ_0 (мс)	0,425	0,433	0,422	0,34
Угол запаздывания, φ_0 (град. ПКвс)	4,3	4,4	4,3	3,4

Частота и продолжительность собственных колебаний иглы распылителя

Параметры	Марка распылителя		
	РШ-6х2х25	5х0,35х130	5х0,4х120
Частота колебаний иглы, $\omega_{и}$, (с ⁻¹)	4546	4402	4351
Продолжительность собственных колебаний иглы, τ (мс)	1,37	1,43	1.44

Из табл. 3 видно, что величина запаздывания подъема иглы форсунки (мс, град. ПКв) с многоструйным распылителем при давлении начала впрыскивания $P_3 = 15$ МПа наиболее близка по значению к величине запаздывания для штифтового распылителя.

Частота собственных колебаний иглы:

$$\omega_{и} = \sqrt{C_1 / m_{и}},$$

где C_1 – жесткость пружины; $C_1 = 124$ Н/м; $m_{и}$ – масса иглы распылителя, кг.

Продолжительность собственных колебаний иглы $\tau = 2\pi / \omega_{и}$.

Выводы

Из таблицы видно, что величина частоты собственных колебаний и их продолжительности незначительно отличаются друг от друга (не более 5 %). Отсюда можно предположить, что применение экспериментальных распылителей не окажет значительного влияния на работу распылителей с точки зрения вибрационных характеристик.

Литература

1. Болосев П.А., Шуханов С.Н. Разработка ресурсосберегающих технологий эксплуатации и диагностики транспортных машин в условиях Восточной Сибири // Иркутск: Издательство ИРНТУ, 2016, 148 с.
2. Шуханов С.Н., Арданов Ч.Е. Бортовые электронные системы Т и ТТМО // Иркутск: Издательство ИРНТУ, 2016, 222 с.
3. Кузьмин А.В., Шуханов С.Н. Технический сервис транспортно-технологических машин и комплексов // Иркутск: Издательство ИРНТУ, 2016, 165 с.
4. Маломыжев О.Л., Шуханов С.Н. Построение математических моделей для расчетов теплового режима агрегатов трансмиссий // Известия Оренбургского ГАУ. 2017. № 63. С. 50–52.
5. Алтухов С.В., Шуханов С.Н. Исследование теплового обмена // Вестник ИрГАУ. 2017. № 80. С. 54–61.

6. Шуханов С.Н. Определение концентрации газа в смазочном материале трансмиссий энергонасыщенных тракторов сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 8. С. 37–40.
7. Астахов И.В., Трусов В.И., Хачиян А.С., Голубков Л.Н. Подача и распыливание топлива в дизелях. М.: Машиностроение, 1971. 359 с.

References

1. Boloev P.A., SHuhanov S.N. Razrabotka resursosberegayushchih tekhnologij ehkspluatatsii i diagnostiki transportnyh mashin v usloviyah Vostochnoj Sibiri [Development of resource-saving technologies for the operation and diagnostics of transport vehicles in Eastern Siberia]. Irkutsk: Izdatel'stvo IRNITU Publ., 2016, 148 p.
2. SHuhanov S.N., Ardanov CH.E. Bortovye ehlektronnye sistemy T i TTMO [Onboard electronic systems of transport and transport-technological machines and equipment]. Irkutsk: Izdatel'stvo IRNITU Publ., 2016, 222 p.
3. Kuz'min A.V., SHuhanov S.N. Tekhnicheskij servis transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov [Technical service of transport-technological machines and complexes]. Irkutsk: Izdatel'stvo IRNITU Publ., 2016, 165 p.
4. Malomyzhev O.L., SHuhanov S.N. Construction of mathematical models for calculating the thermal behavior of transmission aggregates. Izvestiya Orenburgskogo GAU. 2017. No 63, pp. 50–52 (in Russ.).
5. Altuhov S.V., SHuhanov S.N. Study of heat exchange. Vestnik IrGAU. 2017. No 80, pp. 54–61 (in Russ.).
6. SHuhanov S.N. Determination of gas concentration in the lubricant of transmissions of energy-saturated agricultural tractors. Traktory i sel'hozmashiny. 2017. No 8, pp. 37–40 (in Russ.).
7. Astahov I.V., Trusov V.I., Hachiyani A.S., Golubkov L.N. Podacha i raspylivanie topliva v dizelyah [Injection and spraying of fuel in diesel engines]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1971. 359 p.