УДК 621.43.03
Ф.Р. Сафин, Э.М. Гайсин

МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ СТЕНДОВ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ВВЕДЕНИЕМ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ ВПРЫСКУ ТОПЛИВА

Ключевые слова: *двигатель дизельный; аппаратура топливная; стенд регулировочный; цикловая подача; устройство противоаварийного.*

Введение. Техничко-экономические показатели работы дизелей определяются качеством регулировок их топливных систем. Основными регулировочными показателями являются цикловая подача и равномерность и опережение подачи [1, 2]. Регулировки проводятся на стендах с впрыском топлива в среду с атмосферным давлением или близким к нему. В последние годы было выявлено, что существенному повышению качества регулировок способствует регулировка при впрыске в среду с противоаварийным, меняющимся аналогично давлению газов в цилиндре двигателя. Для создания противоаварийного давления впрыску могут применяться разнообразные устройства. Перспективными считаются те, в которых противоаварийное создается самим впрыскиваемым топливом. В них для создания необходимого противоаварийного давления обычно используются гидромеханические аккумуляторы [3, 4]. Применение таких устройств в мастерских небольших сельскохозяйственных предприятий встречает трудности, обусловленные сложностью их конструкции. В этой связи упрощение конструкции устройств противоаварийного давления впрыску (УПВ) представляется весьма актуальным.

Цель исследования – упрощение УПВ.

Материалы и методы исследования. Конструкция УПВ в основном определяется типом используемого аккумулятора впрыскиваемого топлива. В этой связи при наших исследованиях основное внимание уделялось совершенствованию аккумуляторов. Эффективность предлагаемых мероприятий оценивалась по качеству регулировок топливных систем современных дизелей. Исследования проводились по общепринятым методикам [5, 6].

Результаты исследований. Схема разработанного упрощенного варианта УПВ представлена на рисунке 1. В нем использован только гидравлический аккумулятор, а стабилизация остаточного давления в нем и корректирование объема (в зависимости от цикловой подачи топлива) осуществлены постоянным перепуском топлива и сменным штоком (или колпачком).

Камера впрыска 2 (рисунок 1) устройства, представляющая гидравлический аккумулятор, образована стенками его корпуса 1 и торцами штока 3 (или внутренними стенками колпачка 5), перепускного клапана 6, нагруженного пружиной 7, и форсунок 8. Электронный блок 13, включающий усилитель сигналов и аналого-цифровой преобразователь, работает от сигналов датчиков 10 и 11. При необходимости электронный блок 13 может обмениваться данными с персональным компьютером 14.

Устройство работает следующим образом. К моменту начала очередного впрыска топлива давление в камере впрыска 2 должно соответствовать давлению в цилиндре двигателя. До требуемой величины оно регулируется винтом 9 (воздействием на затяг пружины 7 перепускного клапана 6). Приближение закономерности изменения давления в камере впрыска 2 к такому в камере сгорания реального (конкретного) двигателя производится с учетом величины цикловой подачи топлива путем корректировки его объема изменением глубины вхождения / штока 3 (или заменой колпачка 5 с соответствующим внутренним объемом).

Камера впрыска 2, заполненная топливом, и представляет здесь гидравлический аккумулятор. Впрыскиваемое в него топливо аккумулируется за счет сжимаемости. Давление в камере

впрыска 2 фиксируется датчиком 10, который может быть пьезометрическим, тензометрическим и др. Сигналы его усиливаются и преобразовываются блоком 13. По ним определяются значения регулировочных параметров топливоподачи.

Объем камеры впрыска УПВ корректируется (для регулируемой на стенде ТА) с учетом того, что давление Δp в камере впрыска возрастает прямо пропорционально объему ΔV поступившего в нее топлива (цикловой подачи) [7]:

$$\Delta p = \frac{\Delta V}{\beta \cdot V}, \quad (1)$$

где β и V – коэффициент сжимаемости топлива и объем камеры впрыска.

Цикловые подачи современных автотракторных дизелей на номинальном режиме находятся в пределах 50–170 мм³ [8]. Расчеты показали, что при диаметре штока 30 мм размер l для указанных цикловых подач должен менять-

ся в пределах 15–68 мм. В случае использования колпачка 5 его внутренний объем должен находиться в пределах 11–65 см³.

Величина давления Δp принимается по индикаторной диаграмме двигателя, ТА которого регулируется.

Покажем это на примере автомобильного двигателя Д-245.12 (4Ч11/12,5), оборудованного ТНВД 4УТНИ-Т-111105. Расчетная индикаторная диаграмма данного двигателя представлена на рисунке 2.

Номинальная цикловая подача топлива у этого двигателя $g_c = 81 \text{ мм}^3$, продолжительность впрыска 22° п.к.в. , а период задержки самовоспламенения – 15° п.к.в. (фактор динамичности цикла топливоподачи $\sigma = 0,68$).

В соответствии с представленной диаграммой (рисунок 2): $p_0 = 2,983 \text{ МПа}$; $p_1 = 4,909 \text{ МПа}$; $p_2 = 8,597 \text{ МПа}$; $p_3 = 6,389 \text{ МПа}$; $p_c = 5,069 \text{ МПа}$; $p_z = 9,124 \text{ МПа}$.

Рисунок 1

Схема предлагаемого упрощенного варианта УПВ:

1 – корпус; 2 – камера впрыска (выделена затемнением); 3 – шток; 4 – уплотнительные кольца; 5 – колпачок (внутренний объем его выделен затемнением); 6 и 7 – перепускной клапан и его пружина; 8 – форсунки; 9 – регулировочный винт; 10 и 11 – датчики давления и угловой метки; 12 – маховик стэнда; 13 – электронный блок; 14 – персональный компьютер; l – глубина вхождения штока в камеру впрыска

Рисунок 2

Расчетная индикаторная диаграмма дизеля Д-245.12 (а) и условный график подъема иглы распылителя форсунки h_u (б): 0–3 – упрощенная усредненная рабочая характеристика (по давлению); F_1 и F_2 – условные площади

Величина давления Δp принималась по упрощенной усредненной линии 0–3, проведенной так, чтобы обеспечивалось равенство площадей $F_1 = F_2$. Если учесть, что в первом периоде подается основная часть цикловой подачи – 68 %, то использование этой упрощенной усредненной линии 0–3 может считаться вполне обоснованным.

На основе выражения (1) и общеизвестного выражения сжимаемости топлива $\beta = (90 - 0,5 \cdot p_i) \cdot 10^{-5}$ [5], приняв $\Delta p = p_3 - p_0$, можно получить

$$V = \frac{g_u}{(p_3 - p_0) \cdot (90 - 0,5 \cdot p_3) \cdot 10^{-5}}. \quad (2)$$

По этому выражению для дизеля Д-245.12 объем аккумулятора УПВ составит $27,4 \text{ см}^3$.

Испытания предложенного УПВ проводились на стенде КИ-22210. Стабилизацию остаточного давления в аккумуляторе (к началу следующего впрыска) удалось обеспечить постоянным сливом топлива из него. При такой

стабилизации давление в нем в конце впрыска оказалось ниже требуемого, повысить его до необходимого значения удалось уменьшением объема аккумулятора до $23,9 \text{ см}^3$ (на $3,5 \text{ см}^3$).

На стенде, модернизированном использованием предложенного УПВ, как и обычно, предварительно регулировались форсунки и затем в целом ТА. При этом неравномерность топливоподачи снизилась на 16 % по сравнению с немодernизированным стендом.

Моторными испытаниями двигателя Д-245.12 (рисунок 3) было выявлено, что при регулировке ТА использованием предлагаемого УПВ на номинальном режиме ($n = 2400 \text{ мин}^{-1}$) часовые расходы топлива и воздуха практически не изменились и составили $G_m = 19,97 \text{ кг/ч}$, $G_a = 547 \text{ кг/ч}$. Выше оказалась мощность двигателя N_e (на 2 кВт), ниже были удельный расход g_e (на $6,5 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$) и температура выхлопных газов t_r (на 7°C).

В соответствии с этими данными применительно к автомобилю ЗИЛ-5301 экономия за

год составит 228 л дизельного топлива (в денежном выражении 7182 руб.). На один трактор тягового класса 1,4 (Беларусь 952) будет экономиться за год 334 л дизельного топлива (10521 руб.).

Выводы. Одним из способов повышения качества регулировки ТА может стать модернизация существующих регулировочных стенов

введением противодействия впрыску топлива, меняющемуся аналогично давлению в цилиндре двигателя.

Известные устройства противодействия впрыску сложны по конструкции. Упростить их можно, используя гидравлические аккумуляторы и регулируя их объем применением специального регулировочного штока (или колпачка).

Рисунок 3

Скоростная характеристика дизеля Д-245.12 с ТА, отрегулированной при впрыске в среду с атмосферным давлением (штриховые линии) и с использованием УПВ (сплошные): n – частота вращения; $M_{кр}$ – крутящий момент; N_e – эффективная мощность двигателя; G_m – часовой расход топлива; g_e – удельный эффективный расход топлива; g_u – расчетная цикловая подача; G_a – часовой расход воздуха; α – коэффициент избытка воздуха; t_r – температура выхлопных газов

При этом величину давления в камере впрыска устройства принимают, ориентируясь на упрощенную усредненную линию индикаторной диаграммы двигателя. Регулировка топливной аппаратуры двигателя Д-245.12 на модернизированном регулировочном стенде поз-

волила повысить равномерность топливоподачи на 16 %, при этом на номинальном режиме работы двигателя повысилась его мощность (на 2 кВт) и снизился удельный расход топлива (на 6,5 г/кВт·ч).

Библиографический список

1. Габитов, И.И. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры авто-тракторных дизелей [Текст]: учеб. пособие для студ. вузов / И.И. Габитов, Л.В. Грехов, А.В. Неговора. Уфа: Башкирский ГАУ, 2008. 238 с.
2. Неговора, А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей [Текст]: учеб.-практ. пособие для инженеров и специалистов по техническому сервису топливной аппаратуры ди-

- зелей / А.В. Неговора. Уфа: Башдизель, 2006. 149 с.
3. Патент на изобретение № 2429373 от 20.09.2011 г. Стенд для испытания и регулировки дизельной топливной аппаратуры / Баширов Р.М., Инсафуддинов С.З., Сафин Ф.Р., Костенко Л.Н.
4. Костенко, Л.Н. Обоснование параметров и разработка устройства противодействия

впрыску регулировочных стендов топливных систем дизелей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2013. 140 с.

5. ГОСТ 18509-88 Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний [Текст]. Введ. 1988-24-03. М.: Изд-во стандартов, 1988. 46 с.

6. Руководство по испытанию и регулировке топливной аппаратуры тракторных, комбайновых и автомобильных дизелей [Текст]. М.: ГОСНИТИ, 1990. 186 с.

7. Баширов, Р.М. Разработка устройства противодействия впрыску для регулировочных стендов топливной аппаратуры дизелей [Текст] / Р.М. Баширов, Ф.Р. Сафин, С.З. Инсафуддинов, А.А. Сорокин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. Вып. № 5 (49). С. 87–89.

8. Баширов, Р.М. Топливные системы автотракторных и комбайновых дизелей [Текст] / Р.М. Баширов. Уфа: Башкирский ГАУ, 2004. 232 с.

Сведения об авторах

1. **Сафин Филлус Раисович**, кандидат технических наук, ассистент кафедры автомобилей и машинно-тракторных комплексов, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34. Тел.: +7 (3472) 525793, fls02@mail.ru.

2. **Гайсин Эльмир Маликович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и физики, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34. Тел.: +7 (3472) 285200, gaisin@inbox.ru.

Предложено устройство противодействия впрыску топлива для модернизации регулировочных стендов автотракторных дизелей. Отличительная особенность его в том, что противодействие впрыску создается самим впрыскиваемым топливом в гидравлическом аккумуляторе, а необходимая стабилизация остаточного

давления достигается постоянным сливом топлива из него. Необходимый объем гидравлического аккумулятора подбирается исходя из величины цикловой подачи топлива. Экспериментальными исследованиями доказана эффективность его применения.

F. Safin, I. Gaisin

MODERNIZING ADJUSTMENT STANDS OF DIESEL FUEL EQUIPMENT FOR AUTOMOBILES AND TRACTORS BY INTRODUCING FUEL INJECTION BACK PRESSURE

Key words: *diesel engine; fuel equipment; adjustment stand; cyclic injection; back pressure device.*

Authors' personal details

1. **Safin Filyus Raisovich**, Candidate of Technical Sciences, Teaching Assistant of the chair of Automobiles and Tractor Complexes. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University». Ufa, 50-letiya Ocyabrya St., 34. Phone: +7 (3472) 525793, e-mail: fls02@mail.ru.

2. **Gaisin Ilmir Malikovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair of Heat Engineering and Physics. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University». Ufa, 50-letiya Ocyabrya St., 34. Phone: +7 (3472) 285200, e-mail: gaisin@inbox.ru.

The paper describes a back pressure device to modernize adjustment stands of car and tractor diesel engines. Its distinctive feature is in generating backpressure by injected fuel itself in the hydraulic accumulator while required stabilization of residu-

al pressure is achieved by constant fuel drain. The necessary volume of hydraulic accumulator is made according to injection rate. Experimental studies have demonstrated efficiency of its application.

© Сафин Ф.Р., Гайсин Э.М.