

DOI: 10.26898/0370-8799-2017-6-12

УДК 629.113:621.436.12

**МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСХОДНОГО ЗНАЧЕНИЯ
ЗАЗОРА КЛАПАНА НАСОС-ФОРСУНОК ДИЗЕЛЕЙ****В.М. ЛИВШИЦ, доктор технических наук,
главный научный сотрудник,****В.Я. БАТИЩЕВ, старший научный сотрудник,****А.А. МОНОСЗОН, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник***Сибирский научно-исследовательский институт механизации
и электрификации сельского хозяйства СФНЦА РАН
630501, Россия, Новосибирская область, пос. Краснообск
e-mail: baty057@yandex.ru*

Приведены метод и технология восстановления работоспособности насос-форсунок и индивидуальных насосов дизелей с учетом стоимостных показателей отдельных запасных частей. Исследования проводили с комплектами насос-форсунок разных зарубежных фирм. Предложенный метод основан на оценке воздушного зазора электромагнитного клапана по токам срабатывания и отпускания данного клапана без использования топливного стенда. Проведена практическая оценка возможности и эффективности восстановления по токам срабатывания и отпускания электромагнитного клапана исходных значений хода и воздушного зазора электромагнитного клапана насос-форсунок и индивидуальных насосов дизелей. Найдены средние значения и отклонения от среднего показателя токов срабатывания и отпускания, а также воздушного зазора клапана для насос-форсунок комплекта. При проведении работ использовали тестер насос-форсунок ТНФ-1. Предложенный метод за счет предварительного восстановления работы электромагнитного клапана без использования топливного стенда позволяет уменьшить общие затраты времени на ремонт комплекта насос-форсунок индивидуальных насосов в 3 раза. Сравнение произведено с общепринятым методом, когда проверку качества ремонта осуществляют на стенде измерением цикловых подач.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, насос-форсунка, индивидуальный насос, электромагнитный клапан, тестер насос-форсунок ТНФ-1.

Появление в 80-х годах XX в. в системе подачи топлива для дизельных двигателей насос-форсунок (Unit Injektor) и индивидуальных насосов (Unit Pump) с электронным управлением стало новым этапом в совершенствовании двигателей внутреннего сгорания. Электронное управление впрыском позволило более точно управлять моментом и количеством (длительностью) подачи топлива, а повышение давления в распылителе до 200 МПа улучшило смесеобразование. В дизелях с насос-форсунками и индивидуальными насосами были увеличены удельная мощность и крутящий момент, умень-

шены выбросы вредных веществ и снижены шумы [1–4]. На территории РФ активно эксплуатируется большое количество поддержанной грузовой и специальной техники, а также импортные тракторы и комбайны. В связи с этим необходимость в диагностике и ремонте топливной аппаратуры, в частности насос-форсунок и индивидуальных насосов, возрастает.

Большую часть рынка насос-форсунок и индивидуальных насосов занимает продукция таких фирм, как Delphi, Bosch, Cummins, Detroit Diesel, Caterpillar. Фирмы Delphi (по договору с фирмой Hartridge) и

Bosch создали сеть авторизованных сервисных центров по тестированию и ремонту насос-форсунок и индивидуальных насосов в РФ. Высокая стоимость данного оборудования (от 2,5 до 7 млн р.) и необходимость при этом заключать договор авторизации препятствуют широкому распространению данного оборудования в нашей стране. Недорогое разрешение данной проблемы (до 1 млн р.) – создание стенда на основе российских и белорусских приборов и программного обеспечения с применением китайских приводов и специальной оснастки [5, 6].

В корпусе насос-форсунки объединены насос высокого давления, электромагнитный клапан высокого давления и распылитель форсунки в сборе. Для индивидуальных насосов сборка аналогичная, но распылитель располагается отдельно и соединяется трубкой высокого давления. При работе системы подачи топлива электромагнитный клапан, получая команду (электрический импульс от блока управления двигателем), отсекает рабочую камеру от магистрали. После этого насос начинает поднимать давление в рабочей камере (максимально до 250 МПа.). Когда давление топлива превысит 25–35 МПа (зависит от модели насос-форсунки), распылитель откроется и начнется впрыск топлива в камеру сгорания. По окончании электрического импульса рабочая камера подключается к магистрали, давление резко снижается и впрыск топлива прекращается.

Продолжительная работа и динамические нагрузки при высоких давлениях приводят к износу и повреждению запорных кромок клапана и отверстий распылителя. Особенно это усугубляется при наличии в топливе примесей и посторонних частиц размером более 10 мкм [7]. По данным Е.А. Жирова [8], распределение неисправностей насос-форсунок по отдельным узлам следующее: корпус, пружина НВД и плунжер около 2 %, клапанный узел – 63, электромагнитная часть управления – 5, распылитель – 30 %. В настоящее время большинство организаций при ремонте всегда производят замену

распылителя (для некоторых типов насос-форсунок заменяется и пружина распылителя), что вызвано небольшой стоимостью распылителей (250–2500 р.), а также их неремонтопригодностью. Для нового распылителя на гидравлическом стенде регулируется давление начала впрыска (изменением жесткости пружины) перед установкой в насос-форсунку. На этом ремонт узла распылителя насос-форсунки считается законченным. Аналогично заменой после измерения электрического сопротивления (диапазон для различных катушек составляет 0,10–7,00 Ом), если обнаружено короткое замыкание или обрыв, происходит ремонт катушки электромагнитного клапана. Исправность корпуса насос-форсунки, пружины насоса высокого давления и плунжера на практике оценивают визуально и измерением линейных размеров. Самый сложный прецизионный узел насос-форсунки и индивидуального насоса – электрический клапан высокого давления стоимостью 3000–11000 р. (цена зависит от модели и производителя) – ремонтируют или заменяют на новый. При этом состояние запорной кромки клапана проверяют визуально с использованием микроскопа. Ход клапана (диапазон 100–300 мкм) измеряют после разборки насос-форсунки. Для полной диагностики электромагнитного клапана необходимо дополнительно измерить воздушный зазор между якорем и магнитом (воздушный зазор) в открытом или закрытом состоянии клапана, а также время от подачи управляющего импульса до момента закрытия. Время закрытия электромагнитного клапана зависит от параметров импульса управления, т.е. от применяемого диагностического оборудования [9, 10].

Сотрудниками Сибирского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства СФНЦА РАН и фирмы «Ланжерон» проведена отработка технологии диагностики и восстановления работы электромагнитного клапана с помощью тестера насос-форсунок ТНФ-1 [11]. Прибор ТНФ-1 предназначен для работы в составе стенда для

проверки насос-форсунок и индивидуальных насосов. Однако при этом он позволяет проводить раздельное тестирование насос-форсунок без гидравлики (без использования «камбокса») «на столе» и традиционно «на стенде». «На столе» определяют только электромеханические параметры электромагнитного клапана без влияния гидравлики. К электромеханическим параметрам относятся ход плунжера и клапана, зазоры в исходном состоянии (клапан открыт) и сработавшем положении (клапан закрыт) и усилие возвратной пружины. Эти параметры определяют токи срабатывания и отпускания клапана и соответственно его быстродействие, т.е. время срабатывания (закрытия). К гидравлическим параметрам насос-форсунок и индивидуальных насосов относятся давление открытия распылителя, гидроплотность и производительность. Для достижения наилучших результатов эти группы параметров следует определять и регулировать раздельно [1].

В тестере ТНФ-1 принят способ регулировки зазоров клапана и усилия возвратной пружины по токам срабатывания и отпускания [12]. В электромагнитном клапане плунжер клапана удерживается в исходном положении возвратной пружиной, и между сердечником электромагнита и плунжером клапана имеется воздушный зазор (пространство намагничивания) – $d_{\text{нач}}$. При подаче тока в обмотку электромагнита возникает магнитная сила, притягивающая плунжер к сердечнику. Эта сила прямо пропорциональна силе тока в обмотке и обратно пропорциональна воздушному зазору между плунжером и сердечником (применима для малых изменений воздушного зазора)

$$F = K \frac{I}{d},$$

где K – коэффициент, зависящий от конструкции электромагнита; I – ток в обмотке; d – воздушный зазор.

При увеличении силы тока в обмотке, когда магнитная сила становится равной силе сопротивления возвратной пружины, начинается движение плунжера клапана к сердечнику. При этом уменьшается воздуш-

ный зазор и увеличивается магнитная сила. Возникает положительная обратная связь, приводящая к ускоренному движению плунжера к сердечнику, пока он не сядет на седло клапана или другой упор, что ограничит его движение. В этом сработавшем положении клапана между плунжером и сердечником остается воздушный зазор до магнита в сработавшем положении – $d_{\text{м}}$.

При уменьшении силы тока в обмотке, когда магнитная сила станет равной силе возвратной пружины, начнется обратное движение плунжера, приводящее к увеличению зазора и уменьшению магнитной силы. Плунжер возвращается в исходное положение.

Сила тока, при которой плунжер притягивается к сердечнику и клапан закрывается, называется током срабатывания – $I_{\text{с}}$, сила тока, при которой плунжер возвращается в исходное положение, называется током отпускания – $I_{\text{о}}$ [1].

Если в первом приближении принять, что усилие возвратной пружины при срабатывании клапана не изменяется, то магнитные силы в обоих случаях будут равны. Поэтому

$$\frac{I_{\text{с}}}{I_{\text{о}}} = \frac{d_{\text{нач}}}{d_{\text{м}}} = p.$$

Так как $d_{\text{нач}} = d_{\text{м}} + h_{\text{кл}}$, где $h_{\text{кл}}$ – ход плунжера клапана,

то $p = \frac{d_{\text{нач}}}{d_{\text{м}}} = \frac{d_{\text{м}} + h_{\text{кл}}}{d_{\text{м}}} = 1 + \frac{h_{\text{кл}}}{d_{\text{м}}}.$

Отсюда

$$d_{\text{м}} = \frac{h_{\text{кл}}}{p-1}.$$

Такой способ определения зазоров имеет очень высокую чувствительность. Изменения зазоров отмечаются до одного микрона.

В таблице приведены результаты проверки восстановленного комплекта, состоящего из шести насос-форсунок Delphy-A1. Значение зазора $d_{\text{м}}$ вычисляли по измеренным токам $I_{\text{с}}$, $I_{\text{о}}$ и ходу клапана $h_{\text{кл}}$. При этом ход клапана определяли и устанавливали (+1/–1 мкм) в разобранном состоянии насос-форсунки и индивидуального насоса. В приборе имеется возможность сохранять измеренное значение хода.

**Результаты восстановления значений хода
и воздушного зазора электромагнитного клапана насос-форсунок Delphy-A1**

Номер насос-форсунки	I_c, A	I_o, A	I_c/I_o	$T_k, мкс$	$h_{кл}, мкм$	$d_m, мкм$
1	2,45	1,23	1,98	875	140	143
2	2,49	1,24	2,01	872	140	139
3	2,65	1,24	2,21	880	140	116
4	2,51	1,2	2,16	866	140	120
5	2,6	1,16	2,11	865	140	126
6	2,5	1,23	2,03	880	140	136
Среднее	2,53	1,22	2,08	873	140	130
–%	3,29	4,66	5,18	0,80	0	3,29
+%	4,61	1,92	5,98	0,23	0	10,39

Примечание. T_k – время закрытия клапана.

Разбросы параметров от средних значений, приведенные в двух последних строках таблицы, меньше в 2–3 раза, чем для общепринятого метода, когда проверку качества ремонта осуществляют на стенде по измерению цикловых подач.

Проведенные исследования позволили установить на практике возможности восстановления по токам срабатывания и отпущения электромагнитного клапана исходных значений хода и воздушного зазора электромагнитного клапана насос-форсунки и индивидуального насоса. Определен реальный разброс параметров по комплекту для различных типов насос-форсунок и индивидуальных насосов.

Насос-форсунки (см. таблицу) проверены на стенде и признаны восстановленными без дополнительных регулировок. По оценке специалистов фирмы «Ланжерон» общие затраты времени на ремонт комплекта насос-форсунок и индивидуальных насосов уменьшились в 3 раза при предварительном восстановлении работы электромагнитного клапана без использования стенда. Сравнение проведено с общепринятым методом, когда проверку качества ремонта осуществляют на стенде по измерению цикловых подач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов. – М: Легион-Автодата, 2004.
2. Тер-Мкртчян Г.Г., Мазинг М.В. Развитие топливной аппаратуры автомобильных дизелей на современном этапе // Грузовик. – 2014. – № 12. – С. 2–6.
3. Погуляев Ю.Д., Байметдинов Р.М., Наумов В.Н., Чижев Д.А. Система топливоподачи с насос-форсункой нового типа // Инженер. журн.: наука и инновация. – 2013. – № 10 (22). – С. 52.
4. Семенов В.А., Курапин А.В. Насос-форсунки как топливоподающие системы 21 века // Инновационные технологии в обучении и производстве: материалы 7-й Всерос. науч.-практ. конф. – М., 2011. – С. 81–84.
5. Неговора А.В., Ахметов А.Ф., Факиев А.Ф. Диагностический модуль для оценки технического состояния насос-форсунок // Фундаментальные основы научно-технической и технологической модернизации АПК: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Уфа, 2013. – С. 229–233.
6. Имамов Э.Ф. Разработка стенда для диагностики насос-форсунок автотракторных и комбайновых двигателей // Студент и аграрная наука: материалы 7-й студ. науч. конф. – Уфа, 2014. – С. 109–111.

7. **Ахметов А.Ф., Факиев А.Ф.** Влияние эксплуатационных износов насос-форсунки BOSCH на показатели ее работы // Инновационно-промышленный салон. Ремонт. Восстановление. Реновация: материалы 3-й Всерос. науч.-практ. конф. – Уфа: Изд-во Башкирского ГАУ, 2012. – С. 204–206.
8. **Жиров Е.А.** Об особенностях ремонта насос-форсунок // Автоперевозчик. – 2014. – № 7-8.
9. **Ахметов А.Ф., Факиев А.Ф.** Методика диагностики насос-форсунок с электронным управлением фирмы BOSCH // Молодежная наука и АПК: проблемы и перспективы: материалы 5-й Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Уфа: Изд-во Башкирского ГАУ, 2012. – С. 87–89.
10. **Имамов И.Ф., Костарев К.В., Ахметов А.Ф.** Влияние воздушного зазора электромагнитного клапана насос-форсунки на диагностические параметры // Молодежная наука и АПК: проблемы и перспективы: материалы 7-й Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Уфа: Изд-во Башкирского ГАУ, 2014. – С. 34–37.
11. **Тестер-насос** форсунок ТНФ-1. Руководство по эксплуатации // Научно-производственное предприятие «Диагностические приборы»: [Электронный ресурс]. – <http://dipr.ru/> (Дата обращения 21.12.2017).
12. **Регулировка** зазоров насос-форсунок // Научно-производственное предприятие «Диагностические приборы»: [Электронный ресурс]. – <http://dipr.ru/> (Дата обращения 21.12.2017).
4. **Semenov V.A., Kurapin A.V.** Nасos-forsunki kak toplivopodayushchie sistemy 21 veka // Innovatsionnye tekhnologii v obuchenii i proizvodstve: materialy 7-i Vseros. nauch.-prakt. konf. – M., 2011. – S. 81–84.
5. **Negovora A.V., Akhmetov A.F., Fakiev A.F.** Diagnosticheskii modul' dlya otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya nасos-forsunok // Fundamental'nye osnovy nauchno-tekhnicheskoi i tekhnologicheskoi modernizatsii APK: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. – Ufa, 2013. – S. 229–233.
6. **Imamov E.F.** Razrabotka stenda dlya diagnostiki nасos-forsunok avtotraktornykh i kombinovykh dvigatelei // Student i agrarnaya nauka: materialy 7-i stud. nauch. konf. – Ufa, 2014. – S. 109–111.
7. **Akhmetov A.F., Fakiev A.F.** Vliyanie ekspluatatsionnykh iznosov nасos-forsunki BOSCH na pokazateli ee raboty // Innovatsionno-promyshlennyi salon. Remont. Vosstanovlenie. Renovatsiya: materialy 3-i Vseros. nauch.-prakt. konf., 2012. – S. 204–206.
8. **Zhirov E.A.** Ob osobennostyakh remonta nасos-forsunok // Avtoperevozchik. – 2014. – № 7-8.
9. **Akhmetov A.F., Fakiev A.F.** Metodika diagnostiki nасos-forsunok s elektronnyim upravleniem firmy BOSCH // Molodezhnaya nauka i APK: problemy i perspektivy: materialy 5-i Vseros. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh. – 2012. – S. 87–89.
10. **Imamov I.F., Kostarev K.V., Akhmetov A.F.** Vliyanie vozdušnogo zazora elektromagnitnogo klapana nасos-forsunki na diagnosticheskie parametry // Molodezhnaya nauka i APK: problemy i perspektivy: materialy 7-i Vseros. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh. – Ufa: Izd-vo BGAU, 2014. – S. 34–37.
11. **Tester-nасos** forsunok TNF-1. Rukovodstvo po ekspluatatsii // Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Diagnosticheskie pribory»: [Elektronnyi resurs]. – <http://dipr.ru/> (Data obrashcheniya 21.12.2017).
12. **Regulirovka** zazorov nасos-forsunok // Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Diagnosticheskie pribory»: [Elektronnyi resurs]. – <http://dipr.ru/> (Data obrashcheniya 21.12.2017).

REFERENCES

1. **Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A.** Toplivnaya apparatura i sistemy upravleniya dizelei: uchebnyk dlya vuzov. – M: Legion-Avtodata, 2004.
2. **Ter-Mkrtych'yan G.G., Mazing M.V.** Razvitie toplivnoi apparatury avtomobil'nykh dizelei na sovremennom etape // Gruzovik. – 2014. – № 12. – S. 2–6.
3. **Pogulyaev Yu.D., Baimetdinov R.M., Naumov V.N., Chizhov D.A.** Sistema toplivopodachi s nасos-forsunkoi novogo tipa // Inzhener. zhurn.: nauka i innovatsiya. – 2013. – № 10 (22). – S. 52.

METHOD FOR RESTORING A STARTING VALUE OF VALVE CLEARANCE IN PUMP-INJECTORS FOR DIESEL ENGINES

V.M. LIVSHITS, Doctor of Science in Engineering, Head Researcher,

V.YA. BATISHCHEV, Senior Researcher,

A.A. MONOSZON, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher

Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, SFSCA RAS

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia

e-mail: baty057@yandex.ru

There is given a method and a technology for restoring operating capacity of pump-injectors and individual pumps for diesel engines taking into consideration cost indices of particular spare parts. Studies were conducted on pump-injector kits produced by different foreign companies. The method supposed is based on the evaluation of electromagnetic valve air gap by operating and drop-out currents of this valve without using a fuel test stand. There was practically evaluated the recoverability of starting values of electromagnetic valve stroke and air gap by operating and drop-out currents, and the efficiency of restoring them in pump-injectors and individual pumps for diesel engines. There were found the average values of operating and drop-out currents, and deviations of them from the average parameter, as well as those for valve air gaps for pump-injectors of a kit. The pump-injector tester TNF-1 was used for carrying out this work. Due to the preliminary recovery of the electromagnetic valve operation without using the fuel test stand, the method suggested makes it possible to cut time for repairing a kit of pump-injectors and individual pumps by as much as 3 times. The comparison was made between this method and the generally accepted one, when repair quality is tested on the test stand by measuring fuel cycle deliveries.

Keywords: combustion engine, pump-injector, individual pump, electromagnetic valve, pump-injector tester TNF-1.

Поступила в редакцию 30.10.2017