

УДК 621.73.06

**Е.Ю. Зенкин, ассистент, канд. техн. наук,**  
**Н.П. Булгаков, ассистент, канд. техн. наук,**  
**И.М. Баранник, ассистент, канд. техн. наук,**  
**Е.А. Белогуров, ассистент, канд. техн. наук**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков, Украина*

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ФОРСУНКИ АККУМУЛЯТОРНОЙ СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ ДИЗЕЛЯ**

*Предложена и экспериментально обоснована методика диагностирования герметичности электрогидравлической форсунки как одного из факторов оценки её технического состояния.*

**Ключевые слова:** аккумуляторная система топливоподачи, стенд для проверки форсунок, электрогидравлическая форсунка, датчик давления, герметичность.

**Введение.** На данный момент оценивать техническое состояние форсунок аккумуляторных систем топливоподачи дизельных двигателей можно несколькими способами. По косвенным параметрам изменению ускорения вращения коленчатого вала двигателя [1], при стендовой проверке в совокупности с топливной рампой и ТНВД [2], оценивая количество топлива в линиях обратного слива с помощью специального набора для диагностирования аккумуляторных систем [3], по изменению колебаний давления топлива в гидроаккумуляторе [4]. Все вышеперечисленные методы имеют как свои достоинства так и недостатки, ограничивающие область их применения, или требующие значительных капиталовложений в специализированное диагностическое оборудование. В данной статье рассматривается возможность использовать стенды для проверки классических гидромеханических форсунок, модернизировав их для оценки герметичности электрогидравлических форсунок.

**Цель работы** — предложить и обосновать методику оценки герметичности электрогидравлической форсунки системы аккумуляторной подачи топлива дизельного двигателя

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

определить места возникновения утечек в сопряжениях деталей электрогидравлических форсунок;  
 оценить возможность доработки традиционного стенда для проверки гидромеханических форсунок для возможности диагностирования герметичности ЭГФ;

провести регистрацию изменения давления топлива подведённого от стенда к форсунке в зависимости от времени;

выполнить анализ результатов испытаний;

на основе анализа выбрать диагностический параметр, который можно использовать для оценки герметичности электрогидравлической форсунки.

**Объект исследования** — процесс, снижения давления топлива в полостях электрогидравлической форсунки, фиксируемый с помощью дополнительно установленного датчика давления и цифрового пишущего осциллографа.

**Возможные направления утечек в ЭГФ и особенности их выявления.**

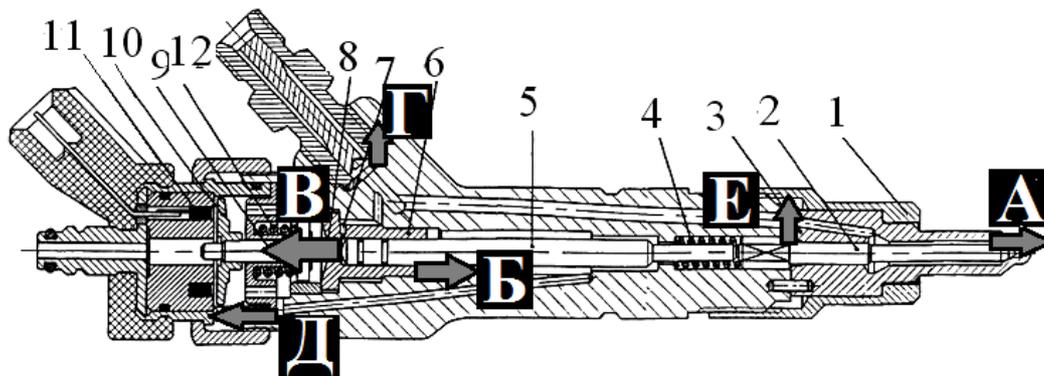


Рисунок 1 — Расположения возможных утечек в ЭГФ

А - утечка по запорному конусу иглы, Б — утечка по фторопластовому уплотнению, В — утечка по клапану управляющей камеры, Г - утечка по уплотнению входного фильтрующего элемента, Д - утечка по резьбе фиксации электромагнита Е - утечка по уплотнению распылителя, 1 - гайка распылителя, 2 - игла, 3 - распылитель, 4 - пружина иглы, 5 - мультипликатор, 6 - втулка, 7 - жиклер камеры управления, 8 - шариковый клапан, 9 - шток, 10 - якорь электромагнита; 11 - электромагнит; 12 - пружина клапана.

Как видно из вышеприведенного рисунка в ЭГФ возможны утечки в шести различных сопряжениях. При этом утечки в сопряжениях «Г», «Е», «Д» однозначно зависят от правильности сборки форсунки и не зависят от износных процессов, в этих сопряжениях нет подвижных частей и износ невозможен. Зона «Б» представляет собой уплотнение штока мультипликатора 5 с помощью фторопластового кольца и может потерять герметичность вследствие как неправильного монтажа, так и при сильном износе уплотнения при регулярном перемещении мультипликатора. Зона «А» представляет собой сопряжение конуса иглы и седла, и имеет конструкцию аналогичную традиционным гидромеханическим форсункам закрытого типа [2]. Соответственно и проверка на герметичность для этого сопряжения аналогична таковой у гидромеханических форсунок. Наибольший интерес представляет зона «В», герметичность данного узла однозначно определяется шариковым клапаном электромагнита ( в ряде моделей форсунок – золотниковым [2]). Данный клапан управляет давлением в управляющей камере форсунки и регулирует процесс впрыскивания топлива. – Если рассмотреть данные сопряжения с точки зрения вероятности выявления утечек как визуальным путём, так и с помощью теста снижения давления в полостях форсунки, то можно отметить следующее: утечки в сопряжениях «Г», «Е», «Д» можно выявить как визуально, так и по падению давления, но их вероятность их возникновения маловероятна и в большей степени связана с неправильным техническим обслуживанием форсунки; утечка в зоне «Б» представляет собой перетекание топлива из управляющей камеры в полость окружающую мультипликатор, является внутренней утечкой и не может быть продиагностирована визуально, также данная утечка не диагностируется изменением давления, поскольку суммарное давление в корпусе форсунки при этом не меняется. Однако её влияние на работу форсунки значительно. Как было указано выше утечка по сопряжению «А» диагностируется по методу аналогичному как для гидромеханических форсунок. То есть её можно установить как визуально, так измеряя давление в полости форсунки. Утечка по клапану управляющей камеры «В» может быть также оценена как по давлению топлива, так и с помощью визуального контроля. При этом потеря герметичности в этой зоне оказывает наибольшее влияние на процесс топливоподачи, причём если при относительно малых утечках только происходит изменение цикловой подачи топлива в цилиндр, то при большой величине утечки возможна потеря давления в гидроаккумуляторе в целом, что в свою очередь приведёт к невозможности запуска двигателя [1]. Можно считать, что в отличие от традиционных гидромеханических форсунок, где герметичность форсунки является контролируемым параметром но не столь сильно влияет на работу топливной аппаратуры, в ЭГФ степень герметичности форсунки, и в частности герметичность запорного клапана управляющей камеры, должна быть принята как один из основных диагностических параметров.

**Методика измерения.** Для проведения замеров на герметичность необходима модернизация любого стандартного стенда для проверки гидромеханических форсунок. Поскольку в данном случае нет необходимости проводить впрыскивание, то отпадает нужда в электронном блоке управления, который бы посылал импульсы на обмотку ЭГФ основная задача стенда сводится только к созданию давления в полости форсунки и его измерения. Обычно максимальные давления в аккумуляторной топливной аппаратуре могут достигать величин 100...200 МПа [1,2]. Стандартный стенд с ручной накачкой технически позволяет создавать давления в требуемом диапазоне, но как правило комплектуется манометром, позволяющим измерять давления не выше 40 МПа. Соответственно манометр должен быть демонтирован и заменён на специальный датчик высокого давления, либо это датчик стороннего изготовителя с подходящими параметрами либо штатный датчик давления топлива от аккумуляторных систем топливоподачи. Также стенд должен быть оснащён краном, отсекающим полость плунжерной пары для более точного измерения, поскольку величина собственных утечек в сопряжениях пары может быть сравнима с утечками в форсунке. Следует заметить, что при давлениях более 100 МПа сопряжения крана могут иметь незначительные утечки и для снижения погрешности измерений величина утечек запорного элемента крана предварительно измеряется при нагнетании давления «в тупик» и затем используется в расчётах как постоянная величина. Суть методики заключается в создании высокого давления в полостях форсунки с помощью плунжерной пары стенда 1 (рисунок 2) (приводимой в действие ручным приводом), и замера скорости падения давления с помощью измерительной аппаратуры. Исходным положением является то, что скорость падения давления будет отражать степень герметичности форсунки. Если для каждой форсунки заранее рассчитать на основании математической модели [5] эталонное значение утечек и соответственно скорости падения давления, либо получить эти данные путём обмера новых исправных форсунок, то сопоставляя их с полученными при диагностировании можно произвести выбраковку форсунок, и принять решение об их замене или ремонтных работах. В качестве измерительной аппаратуры при проведении эксперимента рекомендуются к использованию штатный датчик от аккумуляторной системы топливоподачи Bosch FPS (0 281 002 700) 5 (рисунок 2) и для более точных замеров в нижнем диапазоне давлений датчик давления с меньшим рабочим диапазоном Honeywell MLH260BSB024. Сигналы датчиков записывались цифровым пишущим осциллографом L-Card L783 и программным обеспечением PowerGraph .

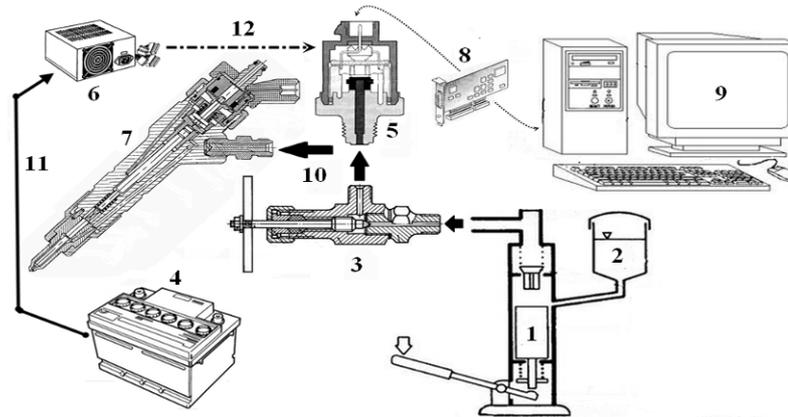


Рисунок 2 — Измерительный комплекс

1 — опресовочный стенд без манометра; 2 — бачок для проверочной жидкости или дизтоплива; 3 — кран отсечки высокого давления; 4 — аккумуляторная батарея; 5 — тензодатчик давления топлива; 6 — преобразователь напряжения питания датчика; 7 — проверяемая форсунка; 8 — АЦП L-Card 783; 9 — персональный компьютер со специальным программным обеспечением; 10 — линия высокого давления топлива; 11 — линия напряжения питания 12 вольт; 12 — линия напряжения питания 5 вольт.

Порядок проведения заключается в следующем – установить тестируемую форсунку на стенд; подключить измерительную аппаратуру (датчик и цифровой осциллограф); создать давление в стенде до выбранной тестовой величины (для каждой форсунки она может быть индивидуально определена) после чего перекрыть вентиль, разобщающий полости форсунки и стенда; записать осциллограмму падения давления в полостях форсунки, визуально проконтролировать наличие утечек по корпусу, распылителю и линии обратного слива; провести математическую обработку сигнала с целью вычисления скорости падения давления; сравнить с эталоном. Следует отметить, что даже в исправных новых форсунках присутствует определённая, допускаемая производителем, величина утечек, то есть форсунка не является идеально герметичной. А это означает, что выбранный в качестве диагностического параметр – скорость падения давления топлива будет отличным от нуля. Что и представлено на рисунке 3.

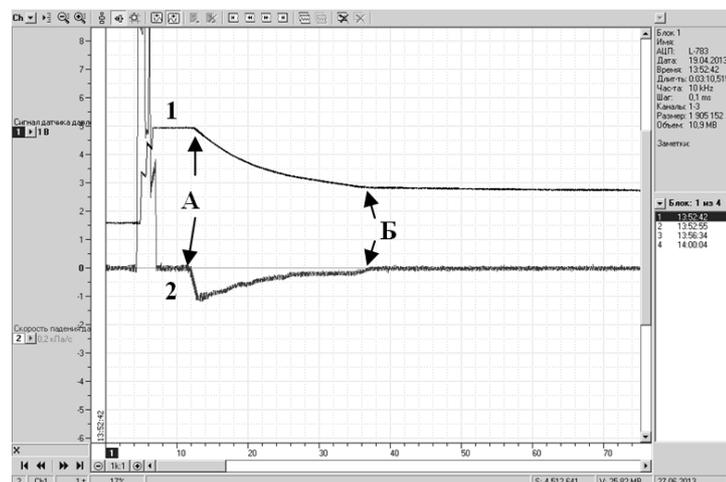


Рисунок 3 — Эталонная осциллограмма для исправной электрогидравлической форсунки

А – конец нагнетания и момент начала измерения; Б – конец снижения давления до остаточного значения;  
1 — Сигнал датчика давления топлива; 2 — Расчётное изменение скорости падения давления

Скорость падения давления является первой производной от амплитуды падения давления в полости форсунки, она автоматически может быть рассчитана с помощью программного обеспечения Powergraph и отображена на экране измерительного комплекса в режиме «реального времени». Сравнение полученных кривых изменения скорости давления для разных форсунок с эталонным вариантом позволяет установить степень их герметичности. Из осциллограммы приведенной на рисунке 4 хорошо видно, что при значительном износе клапана управляющей камеры форсунки происходит не только увеличение скорости падения давления, но и сам уровень давления снижается до более низкого значения остаточной величины.

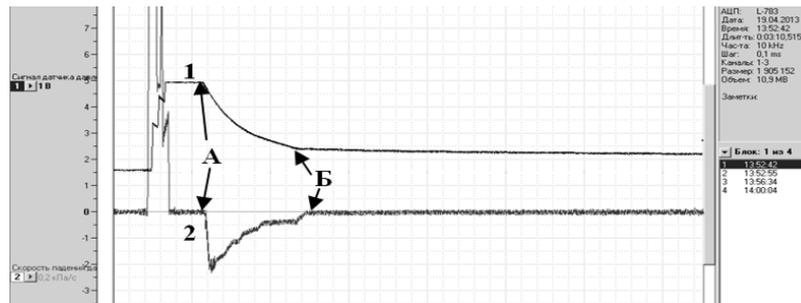


Рисунок 4 — Осциллограмма электрогидравлической форсунки с изношенным клапаном управляющей камеры  
 А — конец нагнетания и момент начала измерения; Б — конец снижения давления до остаточного значения;  
 1 — Сигнал датчика давления топлива; 2 — Расчетное изменение скорости падения давления

**Выводы.** Разработанная методика позволяет снизить затраты времени на оценку технического состояния электрогидравлической форсунки. Основным диагностическим параметром методики является скорость падения давления в полостях форсунки. Одним из преимуществ данного метода оценки герметичности является возможность использовать стандартный гидравлический опрессовочный стенд с доработкой электронной системы измерения. Что в свою очередь уменьшает затраты на переоснащение топливного участка СТО. Предложенная методика позволяет эффективно выявлять одну из самых распространенных причин потери герметичности форсунки и гидроаккумулятора в целом — износ запорного клапана управляющей камеры.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Губертус Гюнтер. Диагностика дизельных двигателей. Серия «автомеханик»./ Губертус Гюнтер. [пер. с нем.] – М.: ЗАО «КЖИ За рулём», 2004. – 176 с.
2. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион – Автодата, 2005. – 344 с.
3. Зенкин Е.Ю. Диагностирование неисправностей топливной аппаратуры системы Common Rail путём измерения расхода топлива в линиях слива / Е.Ю. Зенкин // Автомобильный транспорт: сборник научных трудов – Х., 2005. – Вып. 17. – С. 52–54.
4. Зенкин Е.Ю. Метод определения неравномерности срабатывания цилиндров дизеля в условиях электронной компенсации частоты вращения / Е.Ю. Зенкин // Автомобильный транспорт: сборник научных трудов – Х., 2008. – Вып. 22. – С. 102–108.
5. Врублевский А.Н. Метод многокритериальной идентификации математической модели топливной системы / А.Н. Врублевский // Автомобильный транспорт: сборник научных трудов – Х., 2009. – Вып 23. – С. 95–99.

*Поступила в редакцию 10.05.2013 г.*

#### **Зенкін Є.Ю., Булгаков М.П., Баранник І.М., Белогуров Є.О. Методика оцінки герметичності електрогідравлічної форсунки акумуляторної системи паливоподачі дизеля**

Запропонована й експериментально обґрунтована методика діагностування герметичності електрогідравлічної форсунки як одного з факторів оцінки її технічного стану.

**Ключові слова:** акумуляторна система паливоподачі, стенд для перевірки форсунок, електрогідравлічна форсунка, датчик тиску, герметичність

#### **Zenkin Y.Y., Bulgakov N.P., Barannik I.M., Belogurov Y.A. Method of application leakproofness assessment electrohydraulic injector of accumulative system diesel fuel feeding**

Proposed and experimentally tested method diagnosings of leakproofness assessment electrohydraulic injector of accumulative system diesel fuel feeding as one of factors its technical condition.

**Keywords:** accumulative system diesel fuel feeding; stand for test of injector, electrohydraulic injector, sensor of pressure, leakproofness.