

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ СРАБАТЫВАНИЯ ЦИЛИНДРОВ ДИЗЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПЕНСАЦИИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Е.Ю. Зенкин, аспирант, ХНАДУ

***Аннотация.** Предложен метод, позволяющий определить неравномерность работы цилиндров дизельного двигателя с аккумуляторной системой топливоподачи в условиях работы системы электронной компенсации неравномерности частоты вращения, который позволяет разделить причину неисправности на механическую или гидравлическую.*

***Ключевые слова:** диагностика дизельного двигателя, аккумуляторная система топливоподачи, электрогидравлическая форсунка (ЭГФ), топливный насос высокого давления (ТНВД).*

Введение

Увеличение количества дизелей с аккумуляторной системой топливоподачи на территории Украины происходит за счёт грузовых автомобилей малой и средней грузоподъемности. В основном это машины, выпущенные от трёх до девяти лет назад, и выработавшие часть своего ресурса при эксплуатации в странах ЕЭС, соответственно имеющие проблемные узлы и агрегаты. Износные процессы коснулись механических гидравлических и электронных компонентов.

Подходы по проведению диагностирования и ремонта на дилерских СТО соответствуют политике, проводимой и в стране-изготовителе, где эти машины уже после 4 – 5 лет эксплуатации считаются не соответствующими по выбросам вредных веществ, и расходу топлива вследствие всё тех же вышеупомянутых износных процессов [1]. Поэтому дилерские СТО Украины зачастую не оснащены оборудованием для углублённого диагностирования узлов и агрегатов. Поиск неисправности зачастую сводится к подключению диагностического сканнера и проверки только лишь электронных компонентов и электрических цепей системы управления.

При этом вероятность наличия механического или гидравлического дефекта высока вследствие большого пробега автомобиля, что, в свою очередь, при таком подходе к проведению диагностирования может привести к постановке ложного диагноза и обнаружения истинной причины неисправности. Вторым негативным фактором является применение ГСМ не соответствующих тем, которые производитель рекомендует для своего транспортного средства. Причём это касается как дизельного топлива, так и масла. Как упоминалось, большую часть транспортных средств, оснащённых дизелями с аккумуляторными системами топливоподачи, составляют грузовые автомобили редко находящиеся в личном пользовании физических лиц и обычно принадлежащие в определённом количестве различным АТП и фирмам, предоставляющим услуги грузоперевозки.

Соответственно для упрощения ремонта, снижения числа простоев техники для таких предприятий выгоднее иметь своё подразделение по обслуживанию и диагностированию имеющихся в наличии моделей автомобилей.

Отсутствие дорогостоящего дилерского диагностического сканнера, а зачастую и возможности его приобретения из-за разнообразия эксплуатируемого парка дизелей или по иным причинам, приводит к невозможности создания такого подразделения.

Состояние проблемы

По сравнению с традиционной топливной аппаратурой дизельного двигателя взаимозависимости управляющих и ответных воздействий современных электронных систем управления двигателем (ЭСУД) неочевидны. При работе механического регулятора зачастую алгоритм топливоподачи был ограничен возможностями регулятора, также, как и закон впрыскивания топлива был обусловлен конструктивными особенностями топливного насоса высокого давления и форсунки. То есть зная конструкцию конкретного ТНВД и форсунки, устройство его регулятора, всегда можно было спрогнозировать поведение и внешние проявления в работе ДВС в его эксплуатации. В современных ЭСУД зависимости управляющих воздействий и реакций системы неочевидны. Они задаются исключительно программным путём [1, 2]. Конечно, нельзя забывать, что управление топливоподачей, осуществляемое по гибким алгоритмам, позволяет максимально оптимизировать работу двигателя на разных режимах. Достижение высоких экологических показателей невозможно без электронного управления. Но, с другой стороны, наличие нескольких неполадок, накладывающихся друг на друга, по внешним проявлениям и попытка электронного блока управления разрешить эту проблему путём каких либо изменений в топливо и воздухоподаче зачастую приводит к обратному результату и ещё сильнее искажает достоверность диагностики. То есть попытка «самолечения» системы управления не всегда приводит к положительным результатам. Как известно, большинство ЭСУД аккумуляторных систем топливоподачи имеет алгоритм стабилизации холостого хода (ХХ). Смысл этого алгоритма заключается в следующем: с целью снижения вибраций и неравномерности работы двигателя, приводящих к нагрузкам в трансмиссии и вибрации кузова на режиме ХХ и малых нагрузок, а также для повышения комфорта пассажиров в ЭСУД диагностируют индивидуальную топливоподачу за каждый цикл по каждой форсунке. То есть сигнал датчика числа оборотов используется для расчёта углового ускорения коленчатого вала ДВС. Сигнал датчика положения распределительного вала для идентификации цилиндров. Когда блок управления определит какой цилиндр и на сколько не дорабатывает по вкладу в поддержание оборотов ХХ, то он примет решение об величине топ-

ливной компенсации. В более слабый цилиндр – угловое ускорение его меньше, чем у остальных, будет подана большая порция топлива, за счёт более продолжительного импульса на форсунку [2]. Однако если неравномерность работы ДВС вызвана лаковыми отложениями в корпусе форсунки и распылителе, изношенными процессами в прецизионных элементах, то увеличение длительности импульса вернёт массовую цикловую подачу к норме, как и предполагалось алгоритмом блока управления. Если же худшая работа цилиндра обусловлена механической неполадкой в ДВС, то воздействие увеличенной цикловой подачи не столь однозначно. При дефектах, возникших в клапанном механизме, износе ЦПГ большая «компенсирующая» цикловая подача будет сгорать в худших условиях по компрессии и газообмену, возможно даже критическое ухудшение смесеобразования. Соответственно дизель с механическим регулятором при этом имел бы уже сильные внешние проявления – плавающие в широком диапазоне обороты ХХ, подёргивания, рывки на малых нагрузках. Влияние этого алгоритма компенсации для ЭСУД на самом деле может привести к тому, что дизель будет эксплуатироваться с неполадками, повышенным расходом топлива и выбросом несгоревших углеводородов СН и сажи при отсутствии заметных внешних проявлений для водителя и обслуживающего транспортное средство персонала.

Цель и постановка задачи

Основной проблемой, которая не решена в данный момент, является чёткая локализация зоны неполадки в механической или гидравлической частях ДВС и его системы управления. Также необходимо повысить достоверность постановки диагноза без существенного увеличения продолжительности диагностирования в условиях работы компенсирующего алгоритма поддержания оборотов ХХ.

Целью данной работы является разработка методики, основанной на гидравлических и электрических измерениях в элементах аккумуляторной системы топливоподачи. Предложен метод диагностирования, позволяющий на основе косвенных измерений, проводимых в строго определённом порядке, установить истинную причину неисправности.

Предложен диагностический комплекс, который позволяет сопоставлять длительность управляющих импульсов и провалы давления топлива в рампе, и на основе полученных результатов сделать вывод об источнике неисправности.

Особенности определения величины провала давления в топливном аккумуляторе

Для аккумуляторной топливной аппаратуры цикловая подача топлива будет зависеть от следующих параметров: перепад давлений между аккумулятором и цилиндром двигателя, суммарное проходное сечение форсунки, длительность впрыскивания форсункой [3].

$$V_{ц} = f(P_{acc} - P_{ц}, \mu f_{ф}, \tau).$$

В свою очередь величина расхода топлива через форсунку определяется суммой количества топлива, сброшенного в линию обратного слива через электромагнитный клапан форсунки и цикловой подачи.

Относительная скорость истечения топлива через форсунку выше относительной скорости потока топлива, нагнетаемого плунжерной секцией насоса. Более того, они разнесены по времени. В результате чего в топливном аккумуляторе будет наблюдаться провал давления топлива, что подтверждается источниками [2, 4, 5, 6, 7].

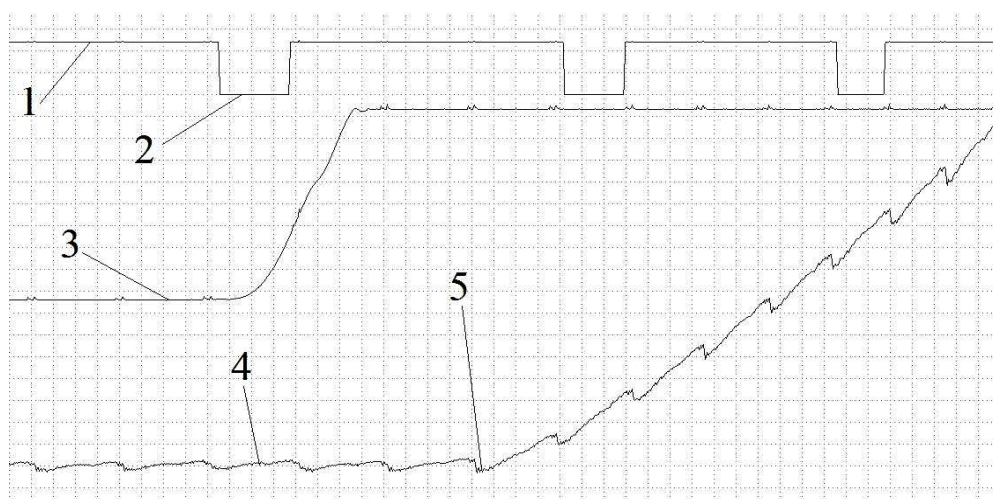


Рис. 1. Колебания давления топлива в аккумуляторе, вызванные срабатыванием форсунок

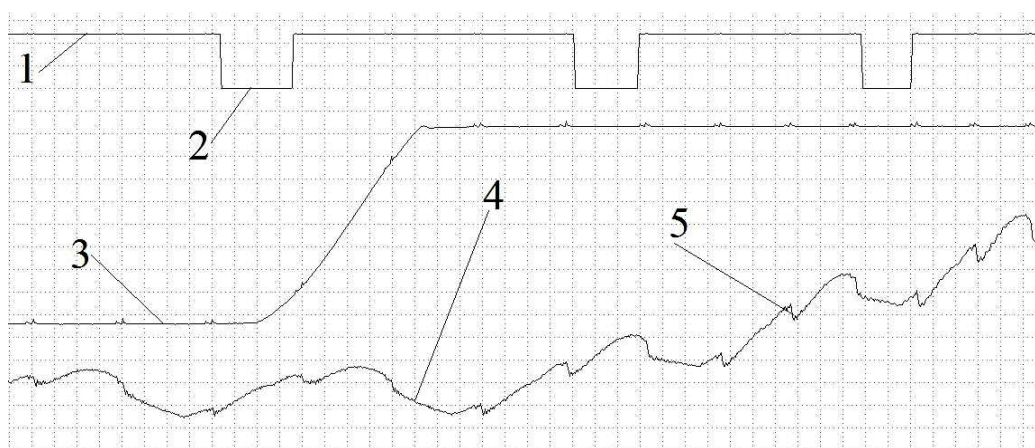


Рис. 2. Колебания давления топлива в рампе в условиях одной отключённой секции ТНВД
Для рис. 1 и 2 условно обозначено:

- 1 – сигнал датчика положения распределительного вала;
- 2 – импульс синхронизации;
- 3 – напряжение на датчике положения педали газа;
- 4 – сигнал штатного датчика давления топлива в аккумуляторе;
- 5 – провалы давления, вызванные срабатыванием ЭГФ.

Результат измерения длительности впрыскивания топлива для каждой форсунки должен сопоставляться с величиной провала давления, вызванного срабатыванием форсунки. Различные соответствия длительности импульса, открывающего форсунку, и величины провала давления станут определяющими при локализации причин неравномерности цилиндров по принципу механическая (электронная) гидравлическая части.

Величина провала давления будет наиболее заметна при его измерении непосредственно внутри корпуса форсунки, либо на трубопроводе высокого давления от рампы к форсунке [6]. Поскольку одним из важных параметров процесса диагностирования является время проведения замеров и их трудоемкость, необходимо определить место, где можно провести измерение в аккумуляторе с достаточной информативностью (относительной чёткостью сигнала о провале давления), но при минимальных затратах времени и без демонтажа элементов двигателя. Наиболее информативное измерение провала давления непосредственно в корпусе форсунки невозможно по второму критерию – временные затраты и трудоёмкость. Измерение с помощью накладного датчика с пьезоэлементом на трубопроводе высокого давления возможно только лишь на открыто расположенных трубопроводах [6]. Недостатком данного способа измерения является неоднозначность замеров, так как, в большинстве современных диагностических комплексов канал пьезодатчика только один. Поэтому диагностирование осуществляется путём последовательного переноса накладной цанги датчика с одного трубопровода на другой, что вносит свою погрешность и увеличивает продолжительность диагностирования. Вторым недостатком является закрытое расположение трубопроводов высокого давления вследствие компоновочных решений, применяемых на грузовых автомобилях малой грузоподъёмности. В этом случае для доступа к форсункам и их трубопроводам зачастую необходимо демонтировать впускной коллектор и/или систему рециркуляции отработавших газов, элементы системы вентиляции картера.

Наиболее быстрым способом измерения провалов давления топлива в рампе является измерение давления на штатном датчике давления топлива. В условиях труднодоступности штекера датчика измерения можно про-

водить с использованием переходника, одеваемого на разъём контроллера системы управления двигателя. Основным недостатком данного способа измерения является относительно малая амплитуда сигнала, вызванная значительным удалением штатного датчика давления от форсунок. С другой стороны, использование измерения одним и тем же датчиком колебаний давления для всех четырех или восьми форсунок обеспечит однообразие условий регистрации процесса [5]. Вопрос состоит только лишь в необходимости применения усилителя сигнала и фильтрации помех [2].

На рис. 1 приведен сигнал датчика давления в топливном аккумуляторе четырехцилиндрового дизеля OM 611 Mercedes Vito, на котором явно видны срабатывания форсунок (поз.5). На рис. 2 приведен аналогичный сигнал в условиях одного неработающего плунжера. Амплитуда сигналов мала, так как величина длительности впрыска и цикловой подачи на ХХ незначительны. На осциллограммах чётко показано, как при нажатии на педаль газа осуществляется переход на режим свободного ускорения двигателя и в этот момент осуществляется кратковременный выход на внешнюю скоростную характеристику. При этом соответственно величина цикловой подачи и провал давления в рампе будут достаточно значительными, чтобы быть отчётливо зафиксированными штатным датчиком давления даже при его удалённости от форсунок.

Особенности определения длительности управляющего сигнала на форсунку

Одной из особенностей измерения сигнала длительности впрыскивания является необходимость дифференциального измерительного входа осциллографа или мотортестера при его синхронизации по углу поворота коленчатого вала. Как известно, открытие электрогидравлической форсунки осуществляется с помощью конденсатора, кратковременно выдающего на обмотку форсунки импульс 70 – 90 В. Назначение этого импульса – резкое ускорение открытия шарикового клапана и как следствие ускорение поднятия иглы. Затем происходит переключение групп транзисторов и подсоединение к обмотке форсунки удерживающего напряжения от бортовой сети (12 – 24 В). При закрытии форсунки происходит выброс напряжения под действием эффекта самоиндукции. При этом каждые

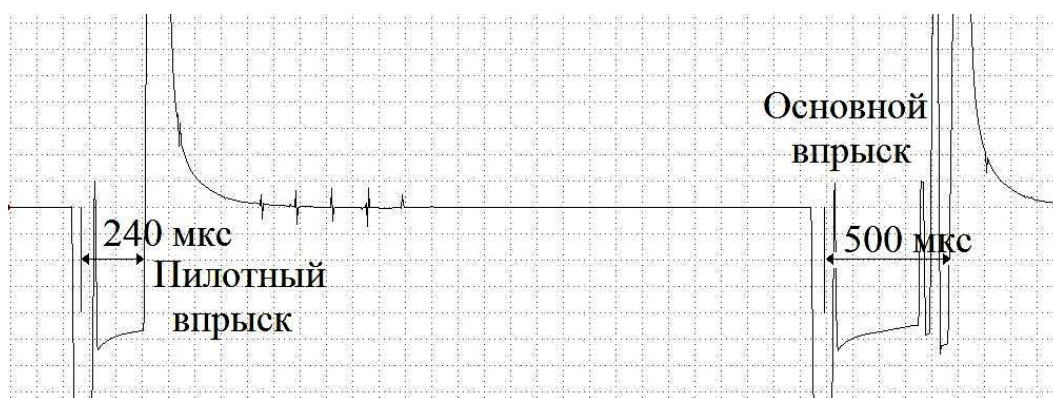


Рис. 3. Дифференциально измеренная длительность управляющего сигнала на ЭГФ

180° п.к.в. происходит перезарядка конденсатора [1, 2]. Так как для упрощения и удешевления производства электронных блоков управления используется один конденсатор на 2 или 4 форсунки, то при стандартном способе измерения длительности впрыска на инжекторе легкотопливного ДВС изображение на экране осциллографа будет нести большое количество посторонней информации и снизится точность определения длительности впрыскивания по управляющему импульсу. Для точного определения продолжительности управляющего импульса для ЭГФ форсунок нужно применять дифференциальное измерение напряжения на обоих контактах форсунки.

На рис. 3 приведена длительность предварительного и основного впрыскивания для режима XX для системы управления Bosch CR15C0 двигателя OM 611. Запись осциллограммы произведена дифференциально через делитель напряжения 1:10 с плечами 1 кОм на 9 кОм, что предполагает минимальную допустимую утечку тока из цепей питания форсунки через схему делителя. Длительность впрыскивания форсунки взята с учётом запаздывания (инерционности механических компонентов ЭГФ по отношению к моменту подачи напряжения на обмотку клапана [4, 7].

Измерительный диагностический стенд

Предложен следующий измерительный стенд: на каждую электрогидравлическую форсунку 1 (рис. 4) подсоединяется дифференциальный щуп для измерения длительности управляющего сигнала. Аналогично с помощью дифференциального щупа производится подключение на штатный датчик давления топлива 3 в аккумуляторе 2. Диффе-

ренциальное измерение сигнала для ЭГФ, как было указано выше, применяется для получения истинного сигнала срабатывания электроклапана, поскольку обе линии её питания передают управляющие сигналы на форсунку по очереди. А для датчика давления топлива дифференциальное измерение производится относительно его массового провода для исключения помех, возникающих от больших токов, протекающих через обмотку электромагнита форсунки. Сигналы передаются в блок преобразования 4. В нём для сигнала датчика давления осуществляется фильтрация помех и усиление. Для уменьшения импульсов форсунок установлены делители 1:10. Применение делителей требуется для согласования получаемого сигнала с измерительными каналами осциллографа. В случае применения автомобильных осциллографов и мотортестеров делители могут быть выполнены 1:10 или 1:5. Для применения измерительного комплекса на основе осциллографов семейства L-Card необходимо использование делителей напряжения 1:20. Преобразованный сигнал поступает в АЦП осциллографа 5 и передаётся в ПК 6, где обрабатывается специализированным ПО. Предполагается следующий порядок проведения диагностирования. На экране монитора 6 отображаются осциллограммы – напряжение датчика положения педали газа (нагрузка), угловое положение коленчатого вала, сигнал со штатного датчика давления 3 в топливном аккумуляторе 2, управляющие импульсы на форсунках 1. На рис. 4 линии подключения к вспомогательным датчикам условно не показаны. При наличии механических неполадок в работе ДВС, например пониженной компрессии одного из цилиндров – прогар впускного клапана, как было указано выше – электронный блок управления

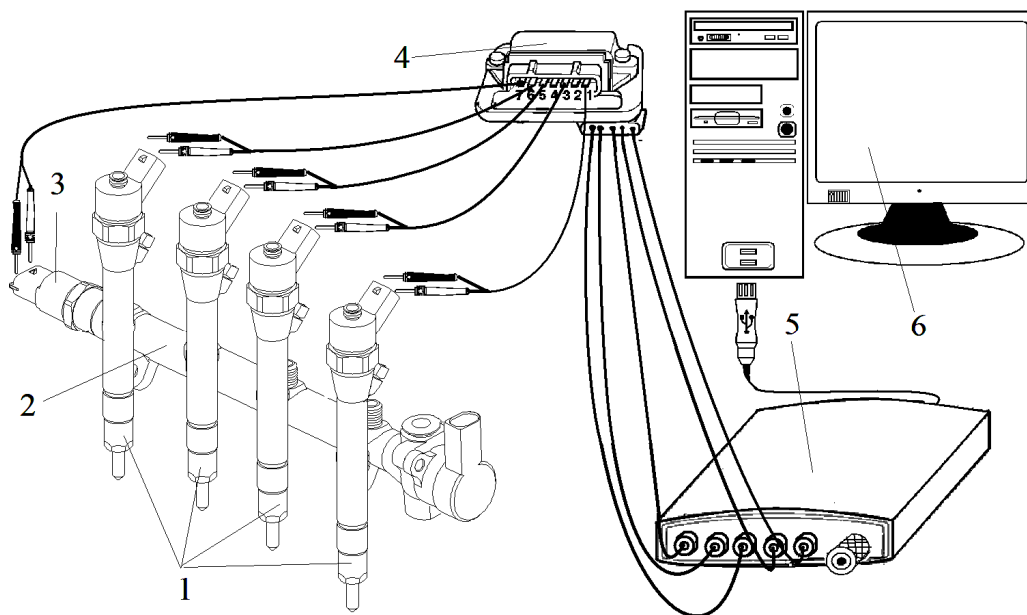


Рис. 4. Принципиальная схема измерительного стенда: 1 – ЭГФ; 2 – топливный аккумулятор (рампа); 3 – штатный датчик давления топлива; 4 – дифференциальный усилитель сигнала давления топлива с дифференциальными делителями напряжения на электромагнитных клапанах; 5 – цифровой осциллограф; 6 – ПК с ПО для обработки результатов измерений

попытается скомпенсировать данную неисправность увеличением количества подаваемого в данный цилиндр топлива. В результате длительность впрыскивания будет увеличена, также увеличится и величина провала давления в топливном аккумуляторе. То есть если при увеличении длительности управляющего импульса на ЭГФ увеличится и провал давления в рампе. Следовательно, цикловая подача реально возросла и неисправность возникла не в гидравлике топливной системы, а именно в механических узлах ДВС.

При работе ДВС на режиме свободного ускорения блок управления отключит режим компенсации разности цикловых подач и соответственно, если неисправность только механического характера, то длительность управляющих импульсов и величина провалов давления должны выровняться. Если при работе двигателя на ХХ длительность впрыскивания одной из ЭГФ увеличена, а провал давления наоборот меньше или равен остальным форсункам, то причина неисправности в форсунке. При работе ДВС на режиме свободного ускорения длительность впрыскивания ЭГФ будет установлена одинаковой для всех цилиндров, а разница между величиной провала давления топлива для

исправной и неисправной форсунок будет больше чем на режиме ХХ. Существует необходимость в составлении контрольных таблиц для каждой аккумуляторной системы топливоподачи. В таких таблицах должно записываться соответствие амплитуды провала давления топлива в аккумуляторе конкретной длительности впрыскивания при заданной средней величине давления топлива в аккумуляторе. Данный стенд может проводить анализ измеренных сигналов и в автоматическом режиме используя специально написанные скрипты на VBS или JavaScript. Необходимо отметить также, что существует вероятность возникновения неполадки и в обмотках электромагнита форсунки, соединительных проводах и переходных сопротивлений в разъемах. Старение конденсатора, частичный выход из строя силовых транзисторов, управляющих форсунками – эти неполадки могут быть легко выявлены по характерному искажению формы управляющего сигнала форсунки.

Заключение

Предложен метод проведения диагностирования дизелей с аккумуляторной топливной аппаратурой, позволяющий снизить затраты времени и не требующий разборки двигателя.

Разработана методика быстрой локализации неисправностей по принципу – механическая, гидравлическая, электрическая.

Предложен способ точного дифференциального измерения формы и длительности управляющих сигналов на открытие электромагнитных клапанов форсунок.

Предложен способ оценки срабатывания электрогидравлической форсунки по сопоставлению величины провала давления при впрыскивании длительности управляющего сигнала.

Разработан полуавтоматический стенд для комплексного диагностирования автомобильного дизеля, оснащенного аккумуляторной системой топливоподачи.

Литература

1. Губертус Гюнтер. Диагностика дизельных двигателей. Серия «Автомеханик». Пер. с нем. Ю.Г. Грудского. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулём», 2004. – 176 с.
2. BOSCH. Системы управления дизельными двигателями. Узлы и агрегаты. Перевод с нем. Первое русское издание. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулём», 2004. – 480 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей: Учебник / С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.
4. Грехов Л.В. Иващенко Н.А. Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
5. Modelling of pressure waves in the Common Rail Diesel Injection System Examensarbete utfört i Fordonssystem vid Tekniska Hogskolan i Linkoping av Kristina Ahlin Reg nr: LiTH-ISY-EX-3081.
6. Julian Baumann Einspritzmengenkorrektur in Common-Rail-Systemen mit Hilfe magnetoelastischer Drucksensoren Dissertation, Universitat Karlsruhe (TH) Fakultat fur Elektrotechnik und Informationstechnik, 2006 Universitatsverlag Karlsruhe c/o Universitatsbibliothek Strafte am Forum 2 D-76131 Karlsruhe.
7. Врублевский А.Н., Григорьев А.Л. Математическая модель для углубленного исследования динамики дизельной форсунки CR. Тезисы докладов научно-технической конференции МАДИ (ГТУ) 3-и Луканинские чтения. Решение энергетических проблем в автотранспортном комплексе. – М., 2007.

Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 14 июня 2007 г.