

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДОЗАТОРОВ ГАЗА СИСТЕМ ПИТАНИЯ ДВС

**Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., В.М. Манойло, доцент, к.т.н.,
М.С. Липинский, аспирант, А.А. Дзюбенко, ассистент, ХНАДУ**

Аннотация. Приведены особенности конструкции и принцип работы электромагнитных дозаторов газа иностранного производства. Рассмотрены их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: особенность конструкции, электромагнитный дозатор газа.

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ДОЗАТОРІВ ГАЗУ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ ДВЗ

**Ф.І. Абрамчук, професор, д.т.н., В.М. Манойло, доцент, к.т.н.,
М.С. Липинський, аспірант, О.А. Дзюбенко, асистент, ХНАДУ**

Анотація. Наведено особливості конструкції та принцип роботи електромагнітних дозаторів газу закордонного виробництва. Розглянуто їх переваги та недоліки.

Ключові слова: особливість конструкції, електромагнітний дозатор газу.

PECULIARITIES OF GAS ELECTROMAGNETIC METERING VALVE OF ICE FUEL SYSTEM

**F. Abramchuk, Professor, Doctor of Technical Science, V. Manoylo, Associate
Professor, Candidate of Technical Science, M. Lipinskiy, graduate,
A. Dziubenko, assistant, KhNAHU**

Abstract. Peculiarities of foreign gas electromagnetic metering valve construction and the principle of their functioning are presented. Their advantages and disadvantages are considered.

Key words: characteristic properties of construction, electromagnetic gas valve.

Введение

В последние годы наблюдается всеобщая тенденция по использованию природного газа в качестве основного топлива в двигателях внутреннего сгорания. В связи с развитием данного направления необходимо разрабатывать новые системы подачи природного газа в цилиндры двигателя, при этом нужно стимулировать развитие электронных систем управления подачи и дозирования газа. Для реализации данного направления широкое распространение получили системы питания газом четвертого поколения [1–5, 7–13]. Эти системы питания позволяют получить приемлемые технико-экономические показатели двигателя.

Данная работа направлена на изучение особенностей конструкции электромагнитных дозаторов газа как основного элемента, дозирующего газообразное топливо во впускную систему ДВС. Поэтому далее речь пойдет только об электромагнитных дозаторах газа.

Главным преимуществом систем питания газом четвертого поколения перед традиционными системами является получение достаточно высоких технико-экономических и экологических показателей двигателя. Как отмечалось выше, основным дозирующим элементом таких систем питания является электромагнитный дозатор газа. Электромагнитный дозатор газа в данных системах выступает в качестве запорного дозирующего устройства, которое реализует алгоритм

сложных электронных управляющих систем. От эффективной работы этого элемента в значительной степени зависит стабильная и надежная работа двигателя на газообразном топливе [6].

Электромагнитный дозатор осуществляет дозированную подачу рабочего тела (газа) непосредственно во впускной коллектор двигателя. При этом газ подается через штуцер, расположенный вблизи впускного клапана. Такой дозированный способ подачи газа в двигатель обеспечивает минимальный разброс мощности между цилиндрами двигателя на скоростных и нагрузочных режимах [14].

Таким образом, применение системы распределенной подачи природного газа по цилиндрам двигателя способно существенно улучшить технические, экологические и экономические показатели двигателя.

Анализ публикаций

При анализе литературных источников, посвященных системам питания газом для ДВС, установлено, что применение традиционных (эжекционных) систем питания не эффективно, так как последние не обеспечивают высокие технико-экономические показатели газового двигателя. На их место приходят системы питания газом четвертого поколения [7]. Прежде всего, это связано с развитием двигателестроения, а точнее – с применением современных систем микропроцессорного управления рабочим процессом двигателя, в которых эксплуатация эжекционных систем питания газом не возможна, по причине отсутствия у последних электрических исполнительных устройств. Также у последних появляется склонность к возникновению «обратных хлопков», при этом наблюдается снижение мощностных показателей. Имеет место неконтролируемый процесс воспламенения газозоообразной смеси в момент прокрутки коленчатого вала ДВС. Описанные выше явления оказывают негативное воздействие на работоспособность некоторых датчиков системы управления (в частности на датчик массового расхода воздуха), способные вызвать его преждевременный выход из строя. Таким образом, на смену эжекционным системам питания газом приходят системы четвертого поколения с электронным управлением. Эти системы обеспечивают практически мгновенный про-

цесс подачи рабочего тела во впускной коллектор ДВС. В сравнении с двухступенчатыми газовыми редукторами (классических систем питания), обладающими значительной инерционностью механо-пневматических узлов на переходных режимах работы ДВС, системы четвертого поколения позволяют добиться более высоких показателей приемистости при резком набросе нагрузки на газовый двигатель.

Отметим, что автомобильный рынок продажи Украины предлагает широкую номенклатуру выбора систем распределенной подачи газа четвертого поколения [1–4, 8–13]. Данные системы питания газом находят свое применение в двигателях с числом цилиндров от 1 до 8 и диапазоне мощностей от 8 до 240 кВт соответственно. Особый интерес данных систем питания представляет электромагнитный дозатор газа (ЭДГ), так как именно он отвечает за непосредственную подачу (секундный расход и цикловую подачу топлива) поступающего в двигатель газа.

Следует отметить, что нередко проводится аналогия газовых дозаторов с бензиновыми форсунками, сходство которых заключается только в возможном названии их функциональных элементов. Основное их назначение – это впрыскивание топлива под избыточным давлением с помощью электромагнитной катушки, открывающей запорный элемент. Дозирование требуемого количества топлива определяется временем открытого состояния запорного элемента дозатора или форсунки и значением избыточного давления газа или топлива на впрыске [6].

Основное отличие бензиновых форсунок от электромагнитных дозаторов газа состоит в том, что бензин подается во впускной коллектор двигателя в жидкой фазе, а газовое моторное топливо поступает и дозируется в газообразном состоянии, причем параметры газовой среды меняются в более широких пределах, по отношению к жидкости. Данная физическая особенность применяемых топлив, несмотря на сходство процессов впрыска, накладывает дополнительные требования к дозаторам газа и делает системы подачи газообразного топлива более чувствительными и нестабильными. Это сказывается на точности и равномерности дозирования газового топлива.

Для осуществления подачи эквивалентной по энергетической потребности двигателя порции газа электромагнитные дозаторы должны иметь большую, чем бензиновые форсунки, пропускную способность, а следовательно, увеличенное сечение дозирующих каналов.

Цель и постановка задачи

Цель данной работы заключается в предоставлении дополнительной технической информации (специалистам по монтажу, ремонту, диагностированию и разработке газовых систем питания) об особенностях конструкции электромагнитных дозаторов газа систем питания двигателей внутреннего сгорания и направлена на выявление их основных преимуществ и недостатков.

Описание конструкции

Сегодня на автомобильных рынках Украины для потребителя в свободной продаже предлагаются электромагнитные дозаторы газа импортного производства и стран СНГ [15]. Далее речь пойдет об электромагнитных дозаторах газа зарубежного производства. В частности это дозаторы «DREAM», «Valtek» и «Stella» итальянских фирм-производителей газового оборудования. Данные электромагнитные дозаторы нашли широкое применение ввиду своей относительно низкой стоимости, простоты конструкции и достаточно высокой надежности в процессе эксплуатации.

Внешний вид описываемых дозаторов газа приведен на рисунках 1–3. На рис. 1 изображен дозатор «DREAM», на рис. 2 показаны, соответственно, дозаторы «Valtek» для 3-х и 4-х цилиндров ДВС, и на рис. 3 представлен дозатор «Stella».

Схема общего устройства электромагнитного дозатора газа приведена на рис. 4. Принцип действия электромагнитного дозатора газа следующий: газ от газового редуктора через соединительный штуцер поступает во внутреннюю полость корпуса дозатора. Под действием магнитного поля, наводимого в катушке электромагнита, преодолевается усилие возвратной пружины, втягивается якорь электромагнита (клапан), после чего открывается расходный канал, и газ поступает в полость А, а затем направляется к расходному жиклеру, который связан с впускным коллектором ДВС.



Рис. 1. Электромагнитный дозатор «DREAM»



Рис. 2. Электромагнитные дозаторы «Valtek»

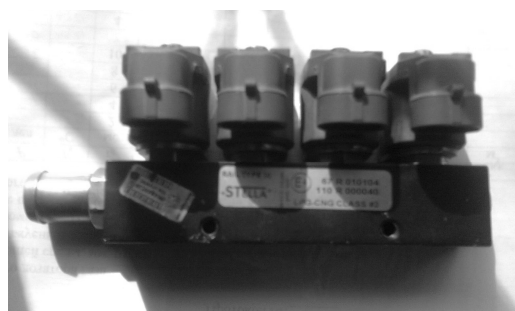


Рис. 3. Электромагнитный дозатор «Stella»

Описываемые электромагнитные дозаторы газа работают по выше изложенному принципу, однако имеют между собой ряд отличительных конструктивных особенностей. Поэтому далее будет приведено описание особенностей конструкции каждого из электромагнитных дозаторов газа.

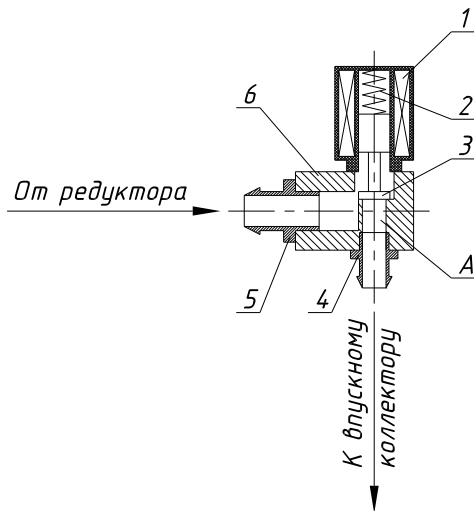


Рис. 4. Схема электромагнитного дозатора газа:
1 – катушка электромагнита; 2 – возвратная пружина; 3 – якорь электромагнита (клапан); 4 – расходный жиклер; 5 – соединительный штуцер; 6 – корпус дозатора; А – полость истечения рабочего тела

На рис. 5 представлен поперечный разрез электромагнитного дозатора газа «DREAM» итальянского производства. Данный дозатор газа представляет собой электромагнит с втягивающим сердечником, который открывает канал для истечения газа. Электромагнитный дозатор газа имеет следующую конструкцию. В корпусе дозатора выполнены отверстия для подвода и отвода рабочего тела. Уплотнение резьбовых элементов (расходного жиклера и корпуса-втулки) осуществляется резиновыми уплотнительными кольцами. В корпус-втулку установлен якорь электромагнита (клапан), в торце которого размещена резиновая уплотнительная шайба. Клапан опирается на седло перепускного канала, тем самым предотвращает утечку рабочего тела. В противоположном торце клапана выполнено отверстие, в которое одним из торцов устанавливается возвратная пружина, а другим торцом она упирается в неподвижный стержень корпуса-втулки. Фиксация корпуса-втулки осуществляется специальной пластиной крепления к корпусу дозатора. Пластина стопорится относительно корпуса дозатора крепежными винтами. На наружную поверхность корпуса-втулки устанавливается катушка электромагнита, которая защищается от механических повреждений пластмассовым корпусом. Подвод электрического напряжения к катушке электромагнита осуществляется по контактным клеммам раз-

емного соединения. Корпус катушки электромагнита фиксируется от осевого перемещения плоской пружиной и стопорным кольцом.

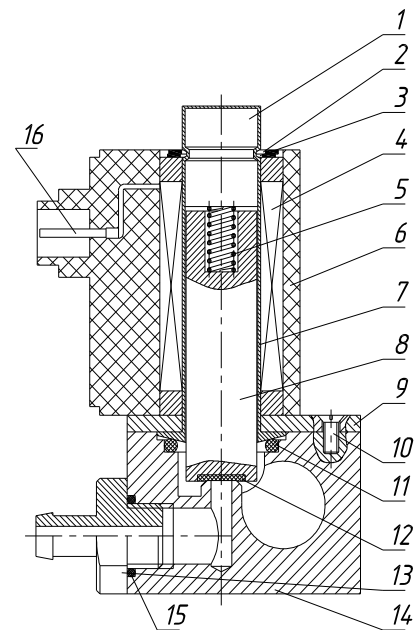


Рис. 5. Поперечный разрез электромагнитного дозатора газа «DREAM»: 1 – неподвижный стержень корпуса-втулки; 2 – стопорное кольцо; 3 – плоская пружина; 4 – катушка электромагнита; 5 – возвратная пружина; 6 – пластмассовый корпус катушки; 7 – корпус-втулка; 8 – якорь электромагнита (клапан); 9 – пластина крепления корпуса-втулки к корпусу дозатора; 10 – крепежный винт; 11 – резиновое уплотнительное кольцо; 12 – резиновое плоское кольцо; 13 – расходный жиклер; 14 – корпус электромагнитного дозатора; 15 – резиновая уплотнительная шайба; 16 – контакты разъемного соединения

Принцип действия данного электромагнитного дозатора следующий. На токоподводящие контакты разъемного соединения подводится напряжение. В обмотке электромагнита создается магнитное поле, которое затем усиливается корпусом-втулкой. Созданное магнитное поле воздействует на якорь электромагнита (клапан), который, в свою очередь, втягивается вовнутрь корпуса-втулки, тем самым открывая канал для истечения газа.

Соединение газовой магистрали электромагнитного дозатора с двигателем осуществля-

ется посредством соединительного трубопровода, штуцера, ввернутого во впускной коллектор, и расходного жиклера, размещенного в дозаторе. Расходный жиклер изготовлен как одно целое со штуцером. Для фиксации электромагнитного дозатора на двигателе, в подкапотном пространстве транспортного средства, в корпусе дозатора выполнены резьбовые отверстия.

Преимуществом данного электромагнитного дозатора газа (в сравнении с другими) является достаточно малые массогабаритные показатели. К недостаткам следует отнести отсутствие возможности регулирования высоты подъема клапана дозатора, что не позволяет (в процессе эксплуатации) производить корректировку равномерности цикловой подачи газа каждым отдельным дозатором.

На рис. 6 представлен поперечный разрез электромагнитного дозатора газа «Valtek» итальянского производства. К конструктивным отличиям можно отнести то, что корпус электромагнитного дозатора газа выполняется с количеством электромагнитных клапанов от одного до четырех, что позволяет адаптировать последний к различным (по числу цилиндров) двигателям.

Конструкция данного электромагнитного дозатора следующая. В корпусе выполнены отверстия для подвода и отвода рабочего тела, в которые вворачиваются расходные жиклеры. Корпус-штулка, штуцер подвода газа и пробка уплотняются резиновыми уплотнительными кольцами. Во внутреннюю полость корпуса-штулки установлен якорь электромагнита (клапан), в нижнем торце которого находится резиновая уплотнительная шайба, а в верхнем торце выполнено отверстие, в которое устанавливается возвратная пружина. Верхним торцом она опирается на регулировочный винт. В верхнем торце клапана дозатора выполнена проточка, в которую установлено резиновое уплотнительное кольцо, служащее также для смягчения ударов клапана о регулировочный винт, тем самым обеспечивается снижение уровня шума при работе. В нижнем торце корпуса-штулки выполнена проточка, в которую установлено резиновое уплотнительное кольцо. Данное кольцо предназначено для поджатия пластмассового корпуса катушки и скобы (ярма) электромагнита к стопорному кольцу. Катушка электромагнита изолирована и защищена от механических повреждений пласт-

массовым корпусом. Для установки электромагнитного дозатора газа на двигатель в подкапотном пространстве транспортного средства имеется обрезиненная крепежная шпилька, которая уменьшает уровень вибраций на топливную аппаратуру.

Принцип действия всех модификаций электромагнитных дозаторов газа «Valtek» для трех, четырех, шести и восьми цилиндров аналогичен принципу действия дозатора «DREAM».

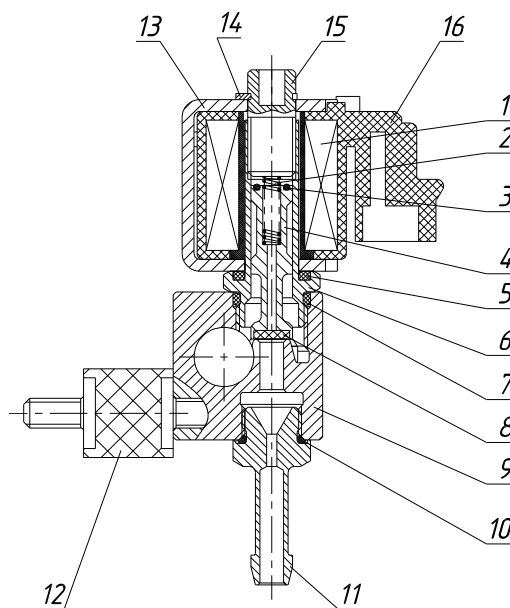


Рис. 6. Поперечный разрез электромагнитного дозатора «Valtek»: 1 – катушка электромагнита; 2 – возвратная пружина; 3 – резиновое уплотнительное кольцо; 4 – якорь электромагнита (клапана); 5 – резиновое уплотнительное кольцо; 6 – корпус-штулка; 7 – резиновое уплотнительное кольцо; 8 – резиновое плоское кольцо; 9 – корпус электромагнитного дозатора; 10 – резиновое уплотнительное кольцо; 11 – расходный жиклер; 12 – обрезиненная крепежная шпилька; 13 – скоба электромагнита (ярма); 14 – стопорное кольцо; 15 – регулировочный винт; 16 – пластмассовый корпус катушки

К положительным сторонам данной конструкции следует отнести: возможность регулировки высоты подъема клапана от 0 до 3 мм; возможность увеличения диаметра калибровочного отверстия расходного жиклера (см. табл. 1) от 1,8 до 2,7 мм; относительная простота конструкции; высокая ремонтпригодность и унификация. К недостаткам сле-

дует отнести незначительную шумность при работе электромагнитного дозатора газа и некоторое усложнение конструктивной схемы узла за счет наличия регулировочного винта подъема клапана.

Таблица 1 Зависимость диаметра калибровочного отверстия расходного жиклера от мощностных характеристик двигателя

Диаметр калибровочного отверстия, мм	Эффективная мощность, кВт			
	на 1 цилиндр	на 4 цилиндра	на 6 цилиндров	на 8 цилиндров
1,8	8 – 12	35 – 51	53 – 77	71 – 103
2,1	13 – 17	51 – 72	77 – 108	103 – 145
2,4	18 – 23	72 – 96	108 – 144	145 – 192
2,7	24 – 29	96 – 119	144 – 179	192 – 240

В качестве дополнительного положительного фактора необходимо учитывать то, что для данных электромагнитных дозаторов газа выпускается ряд катушек электромагнита с различным сопротивлением (см. табл. 2).

Таблица 2 Некоторые характеристики катушек электромагнита дозатора газа фирмы «Valtek»

Цвет катушки электромагнита	Тип электромагнитного дозатора газа	Электрическое сопротивление обмотки катушки, Ом	Число обслуживаемых цилиндров
Красный	Tape 30	1 – 3	1 – 4
Желтый	F-val	1	2 – 4
Синий	Tape 30	3	4
Серый	Tape 30	2	2 – 4
Черный	Tape 30	3	2 – 3

Время открытия электромагнитных дозаторов газа находится в прямой зависимости от сопротивления катушек. Как правило, сопротивление катушки дозатора находится в пределах 3 ± 1 Ом. Для уменьшения времени открытия дозаторов газа в отдельных случаях уменьшают сопротивление катушек до 1 Ом, однако при этом наблюдается перегрузка электрических цепей блока управления и самих катушек дозатора, что приводит к снижению надежности элементов [6]. Данный типоразмер позволяет подобрать тот или

иной тип катушек в зависимости от технических характеристик двигателя транспортного средства. Наиболее рациональным является применение электромагнитных дозаторов газа с сопротивлением катушки 3 Ом [6].

Чтобы определить, каким образом цвет корпуса электромагнита характеризует работу электромагнитного дозатора в целом, был проведен эксперимент, который заключался в качественной оценке энергии, запасаемой катушкой дозатора.

В схему, приведенную на рис. 7, поочередно подключались электромагнитные дозаторы газа различных типов, а также дозатор с одним и тем же механическим конструктивом, но различными электромагнитными катушками.

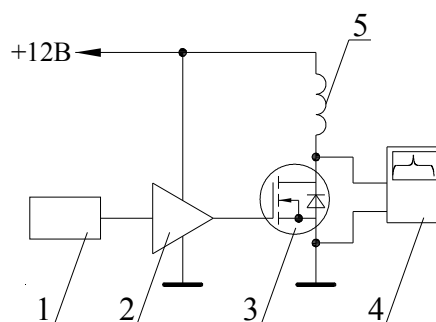


Рис. 7. Схема подключения электромагнитного дозатора газа при экспериментальном исследовании: 1 – генератор прямоугольных импульсов; 2 – драйвер силового транзистора; 3 – силовой транзистор; 4 – цифровой осциллограф; 5 – обмотка испытуемого электромагнитного дозатора

Генератор прямоугольных импульсов (ГПИ) непрерывно вырабатывает сигнал частотой 1 Гц и скважностью 0,5. Этот сигнал, усиленный драйвером силового транзистора (MOSFET), поступает на управляющий вывод транзистора, открывая и закрывая его на равные промежутки времени.

По своей физической сущности обмотка электромагнита является обычной катушкой индуктивности: при открытии транзистора через нее начинает протекать ток, возрастающий по экспоненциальной зависимости. При протекании тока катушка накапливает энергию в электромагнитном поле, равную

$$W = \frac{LI^2}{2}, \quad (1)$$

где L – индуктивность обмотки; I – ток, протекающий через обмотку.

При закрытии транзистора катушка стремится поддержать протекающий через нее ток в том же направлении, за счет накопленной электромагнитной энергии. Это приводит к возникновению всплеска ЭДС самоиндукции, равного

$$E_c = -L \frac{dI}{dt}. \quad (2)$$

Фиксируя этот всплеск напряжения на выводах силового транзистора при помощи электронного осциллографа, можно судить о количестве накопленной электромагнитной энергии в обмотке по площади импульса осциллограммы.

На рис. 8 приведены осциллограммы всплеска ЭДС самоиндукции для электромагнитных дозаторов с красным (а) и синим (б) цветом корпусов электромагнитов. Анализ осциллограмм показывает, что во втором случае запасаемая энергия на 15 % превышает энергию, запасаемую электромагнитом красного цвета.

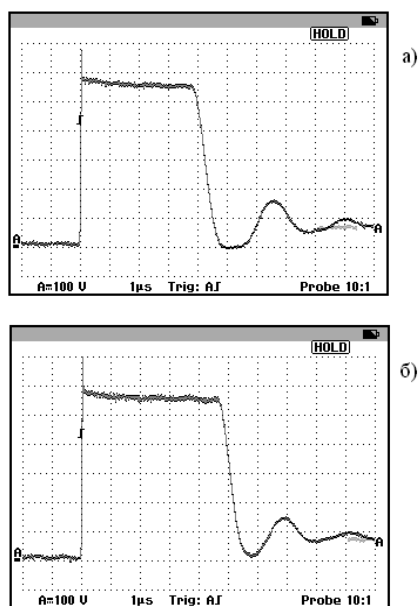


Рис. 8. Изменение напряжения в обмотке электромагнита дозатора газа «Valtek Tare 30» с сопротивлением катушки 3 Ом: а – с красным цветом катушек; б – с синим цветом катушек

При замене катушки электромагнита синего цвета на катушку красного цвета (рис. 9) видно, что получаемая осциллограмма фактически идентична осциллограмме, изображенной на рис. 8, б. Это свидетельствует о том, что работа электромагнита не зависит от механической части дозатора, а определяется

только параметрами электромагнитной катушки.

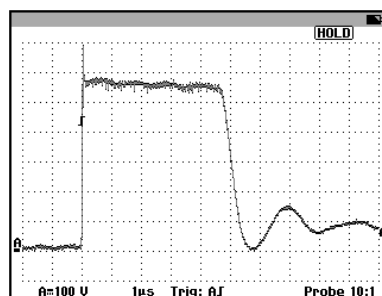


Рис. 9. Изменение напряжения в обмотке электромагнита дозатора газа «Valtek Tare 30» после замены катушек

Данной проверке подвергся и электромагнитный дозатор «DREAM», характеристики которого представлены на рис. 10.

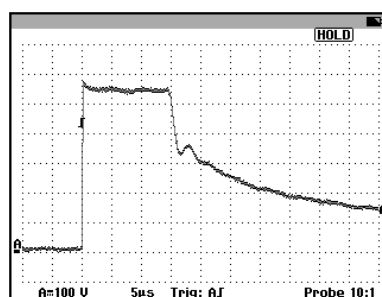


Рис. 10. Изменение напряжения в обмотке электромагнита дозатора газа «DREAM»

Зависимость производительности от времени открытия клапана электромагнитного дозатора газа для большинства импортных дозаторов иллюстрируется рис. 11, взятым из работы [6]. Приведенный рисунок наглядно показывает, что на нижнем отрезке графика происходит резкий скачок пропускной способности. На участке, приближающемся к максимальной производительности, также возникает скачок и неравномерность по секциям.

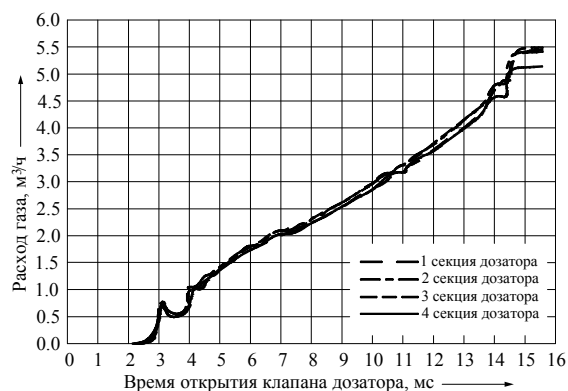


Рис. 11. Зависимость расхода газа от времени открытия клапана дозатора

Данная неоднородность производительности обусловлена следующими возможными причинами:

- в нижнем участке кривой расхода дозатор не обеспечивает достаточного расхода, ввиду неустойчивости переходных процессов;
- с ростом времени открытия запорного клапана наблюдается интенсивный, практически линейный расход газа через дозатор;
- в верхней зоне зависимости расход газа от времени открытия вновь возрастет, ввиду нелинейности и неустойчивости процессов.

Конструкция электромагнитного дозатора газа «Stella» (см. рис. 3) аналогична конструкции и принципу действия электромагнитного дозатора «Valtek»; исключение в конструкции составляет катушка электромагнита (зеленого цвета) и штуцер подвода газа к корпусу дозатора. Для данного типа электромагнитных дозаторов в работе [6] содержится информация в табл. 3.

Таблица 3 Сравнение эксплуатационных параметров электромагнитных дозаторов «Stella»

Модель дозатора газа	Сопротивление катушки, Ом	Минимальное время открытия клапана дозатора (t_g), мс	Расход газа, м ³ /ч
IG1	3	2,7	1,8*
IF1	2	2,2	2,1*
* при $p = 1$ МПа, $t_{отк} = 5$ мс, $n = 3000$ мин ⁻¹			

Приведенная выше информация (табл. 3) и выполненные авторами экспериментальные исследования над катушками различных ЭДГ подтверждают тот факт, что сопротивление катушки электромагнитного дозатора газа оказывает существенное влияние на минимальное время открытия клапана и производительность дозатора.

Выводы

На сегодняшний день автомобильный рынок Украины наполнен значительным количеством электромагнитных дозаторов газа, в основном импортного производства.

Конструкция электромагнитного дозатора газа (конструкция клапана и сопротивление катушки) оказывает существенное влияние на минимально необходимое время открытия клапана и производительность дозаторов. Однако с уменьшением сопротивления катушки электромагнитного дозатора газа снижается его надежность и ресурс. Ввиду различия физико-химических свойств между газообразными и жидкими топливами, к конструкции дозатора газа предъявляются повышенные требования. Особенно это касается точности и равномерности дозирования порции газа.

Для автомобильных двигателей интерес представляют унифицированные дозаторы газа (такие как дозаторы «Valtek» и «Stella»). Тем не менее, чтобы окончательно убедиться в этом, необходимо проведение серии безмоторных экспериментальных исследований по определению пропускной способности электромагнитных дозаторов газа в широком диапазоне изменения скоростных и нагрузочных режимов ДВС.

Результаты экспериментальных исследований пропускной способности описанных выше дозаторов газа на безмоторном стенде будут приведены авторами в следующих работах.

Литература

1. Комплект газобаллонного оборудования «GIG-IV-SATELLITE-V08» с распределенным впрыском газа для переднеприводных автомобилей ВАЗ, использующих газ в качестве моторного топлива / Руководство по эксплуатации «GIG-IV-SATELLITE-V08» для автомобилей ВАЗ-2108-09-099, 211020, 212200, 211220, 211500-21 и их модификаций // Авто Газо Заправочный комплекс + Альтернативное Топливо. – 2006. – №1(25). – С. 28–32.
2. Комплект газобаллонного оборудования «GIG-IV-SATELLITE-V08» с распределенным впрыском газа для переднеприводных автомобилей ВАЗ, использующих газ в качестве моторного топлива / Руководство по эксплуатации «GIG-IV-SATELLITE-V08» для автомобилей ВАЗ-2108-09-099, 211020, 212200, 211220, 211500-21 и их модификаций // Авто Газо Заправочный

- Комплекс + Альтернативное Топливо. – 2006. – №2(26). – С. 24–26.
3. Савушкин А. Новая система газового впрыска СУГ ВДГС–ПБ–4 «ФАВОРИТ» / А. Савушкин, Н. Завадько // Авто Газо Заправочный Комплекс + Альтернативное Топливо. – 2006. – №2(26). – С. 21–23.
 4. Пасечник Д. Современные технологии перевода автомобилей на газ / Д. Пасечник // Авто Газо Заправочный Комплекс + Альтернативное Топливо. – 2006. – №3(27). – С. 6–7.
 5. Тихомирова О.Б. Разработка системы непрерывной подачи газа для ДВС с искровым зажиганием: автореф. дис. на соискание учён. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / О.Б. Тихомирова. – Нижний Новгород, 2009. – 20 с.
 6. Яжиньски Г. Особенности работы и сервисного обслуживания газовых форсунок автомобильных двигателей / Г. Яжиньски, Ю. Панов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – №2(2). – С. 34–37.
 7. Поколения ГБО. Правильная классификация: [Электронный ресурс] / Материал подготовлен компанией “Автогаз Украина Групп” совместно с журналом “АвтоЭксперт” // – Режим доступа к источнику: http://gbo.ua/ru_articles_pokoleniya_gbo.html
 8. Устройство системы распределенной подачи газа Stag–4 (300+1): [Электронный ресурс] / Режим доступа к источнику: <http://www.mastergas.com.ua/oborudovanie/stag-4-300/>
 9. Устройство системы распределенной подачи газа DRAEM XXI N: [Электронный ресурс] / Режим доступа к источнику: <http://omvlgas.it/eng/prodotti.php>
 10. Устройство системы распределенной подачи газа Diego (КМЕ): [Электронный ресурс] / Режим доступа к источнику: <http://www.mastergas.com.ua/oborudovanie/diego-kme/>
 11. Устройство системы распределенной подачи газа Sequent (BRC Gas Equipment): [Электронный ресурс] / Режим доступа к источнику: <http://www.mastergas.com.ua/oborudovanie/sequent-brc-gas-equipment/>
 12. Устройство системы распределенной подачи газа VSI (PRINS): [Электронный ресурс] / Режим доступа к источнику: <http://www.mastergas.com.ua/oborudovanie/vsi-prins/>
 13. Общее описание и устройство систем распределенной подачи газа: [Электронный ресурс] / Режим доступа к источнику: <http://www.kostagas.ru/ustanovshik.php>
 14. Гайворонский А.И. Перевод дизеля КамАЗ-740.13-260 на газовое топливо / А.И. Гайворонский, Г.С. Савельев // Грузовик &. – 2006. – №6 – С. 16–20.
 15. Газовый дозатор-инжектор ИВУА.407212.001: [Электронный ресурс] / Режим доступа к источнику: http://www.zavodleninetz.ru/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=17&category_id=9&option=com_virtuemart&Itemid=57
- Рецензент: А. Н. Пойда, профессор, д. т. н., ХНАДУ.
- Статья поступила в редакцию 21 октября 2010 г.
-