

Булгаков Н. П.,  
Зенкин Е. Ю.

## ВЫБОР МЕСТА УСТАНОВКИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

*Исследовано влияние местоположения для различных типов датчиков давления на точность и достоверность регистрации значений колебания давления топлива на аппаратуре бензиновых инжекторных двигателей. Определены требования к датчикам давления. Предлагается к разработке стенд для таких испытаний. Результаты могут быть использованы для диагностики топливной аппаратуры бензиновых двигателей.*

**Ключевые слова:** датчик, давление топлива, процессы колебания, оборудование для диагностики, осциллограмма.

### 1. Введение

С появлением электронных систем управления двигателем (ЭСУД) автоматически возникла потребность изменения практических подходов к диагностике, увеличилось количество диагностических параметров, резко возросла роль вычислительной техники в процессе эксплуатации и диагностики современного автомобиля. В данной работе предлагается разработка измерительного стенда позволяющего достоверно регистрировать колебания давления в топливной аппаратуре бензинового двигателя. Предполагается устанавливать датчик давления топлива в различные участки топливной аппаратуры (в зависимости от ее конструкции), записывать сигнал датчика и на основе полученных данных изучать влияние особенностей установки и типа датчика на достоверность регистрации колебаний давления топлива в топливной аппаратуре бензинового двигателя, разработав, таким образом, достоверный и информативный источник диагностических параметров. В перспективе данные параметры позволят оценить техническое состояние форсунок, топливного электронасоса и регулятора давления топлива.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

При эксплуатации топливной аппаратуры 31 % ее неисправностей приходится на форсунки [1], при этом их стендовая проверка требует немалых временных затрат [2], что увеличивает простой автомобиля в ремонте. Оценка амплитуды, частоты, формы колебания давления топлива позволит ускорить процесс диагностирования и ремонта топливной аппаратуры [3]. Эффективность данного метода подтверждена [4, 5], но достоверная методика диагностирования топливной аппаратуры бензинового двигателя на данный момент не разработана [6, 7].

### 3. Объект, цель и задачи исследования

*Объект исследования* — топливная аппаратура бензинового двигателя с впрыском во впускной коллектор.

В процессе работы элементов топливной системы, таких как бензонасос, регулятор давления топлива (РДТ) и топливные форсунки, в гидравлической части топливной аппаратуры возникают колебания давлений [8]. Анализ изменения частотных и амплитудных показателей колебаний давления топлива может позволить достоверно оценить техническое состояние и позволяет дать представление о характере работы вышеупомянутых элементов [9].

*Целью исследования* было определение влияния места установки и типа датчика давления на достоверность записи колебательных процессов в топливной аппаратуре бензинового инжекторного двигателя.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить чувствительность каждого из датчиков к колебаниям давления в топливной рампе;
- определить место для установки датчиков давления для регистрации колебательных процессов.

### 4. Оборудование для проведения исследований

В зависимости от состояния бензонасоса будут меняться колебания по частоте и амплитуде, а так же изменяться средний уровень давления. В зависимости от длительности впрыскивания форсунки и от степени ее загрязнения будет изменяться амплитуда провала топлива при впрыскивании. В зависимости от состояния регулятора давления будет изменяться средний уровень давления топлива в топливной рампе, но колебания давления топлива исправный РДТ не вызывает.

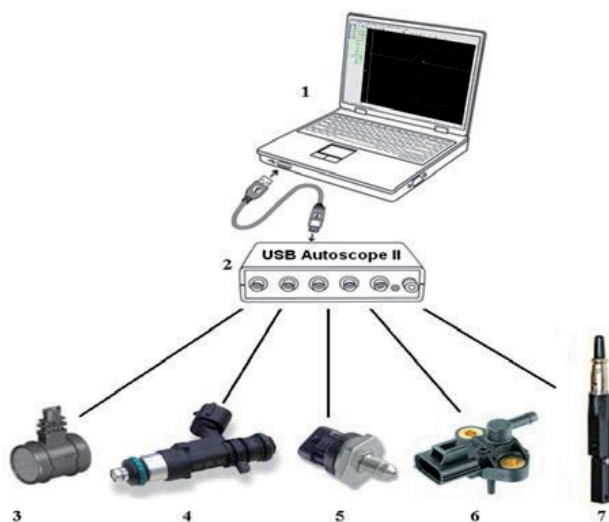
Для проведения исследований применялись датчики давления PST-F и PSS-260.

Датчик давления PST-F предназначен для измерения абсолютного давления и температуры различных видов жидкостей, например дизельного топлива, бензина, и масла. Данный датчик имеет возможность помимо регистрации параметров давления одновременно отслеживать температуру топлива. Диапазон измерения давления 0,5–6 Бар (0,05–0,06 МПа). PST-F оснащен

пьезорезистивным элементом давления, интегрированным в кремниевый чип с элементами обработки сигнала (усилитель). Термочувствительный элемент представляет собой NTC-резистор. Диапазон измерения температуры  $-40-125$  °С. Имеет линейную характеристику.

Датчик давления PSS-260 разработан для измерения абсолютного давления в топливной аппаратуре непосредственного впрыска топлива. Диапазон измерения давления  $0-140$  Бар ( $0-14$  МПа). Этот датчик также совместим с другими видами жидкостей, например дизельное топливо, моторное масло, трансмиссионное масло, или тормозные жидкости. Пьезорезистивный чувствительный элемент представляет собой резистивный мост Уинстона. Датчик обеспечивает измерение давления независимо от атмосферного. Имеет линейную характеристику. Оба датчика имеют линейную характеристику благодаря усилителю и линейатору выходного сигнала датчика. Параметры питания датчиков и их выходных сигналов стандартизированы, оба датчика имеют трехконтактное подключение, в котором имеется «масса», питание напряжением 5 вольт и информационный канал в диапазоне от 0,5 до 5 вольт.

Для проведения измерений с помощью этих датчиков был задействован восьмиканальный цифровой пишущий осциллограф USB Score 2 (рис. 1). Он позволил одновременно записывать несколько сигналов: напряжение на информационном канале датчика, силу тока в обмотке форсунки, напряжение, длительность управляющего сигнала на форсунке.



**Рис. 1.** Элементы измерительной системы: 1 — ноутбук со специализированным ПО; 2 — цифровой осциллограф USB Autoscope II; 3 — датчик массового расхода воздуха; 4 — форсунка; 5 — датчик давления топлива PSS-260; 6 — датчик давления топлива PST-F; 7 — токовые клещи

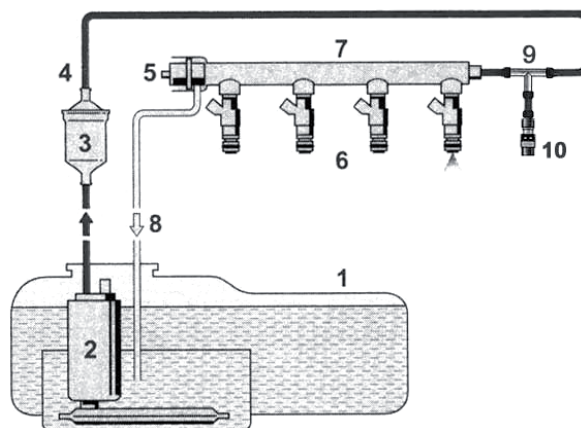
Также дополнительно писался расход воздуха информационного канала датчика массового расхода воздуха как вспомогательная величина. Как известно из анализа осциллограмм сигналов управляющего импульса на форсунке — по сигналу напряжения питания форсунки можно отследить момент посадки иглы на седло, то есть полного перекрытия истечения топлива, а по сигналу напряжения, измеряемому токовыми клещами — момент полного открытия проходного сечения форсунки,

когда игла поднялась в максимальное положение [10]. В работе также была предпринята попытка сопоставить эти моменты времени с изменением давления топлива при его впрыскивании.

## 5. Описание процесса проведения эксперимента

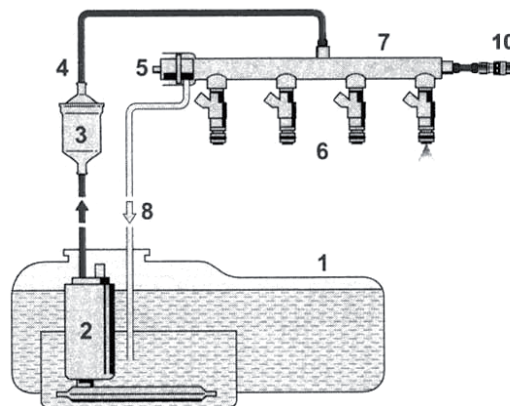
Испытания проводились на автомобилях Skoda Octavia 1.8 Turbo и VW Golf GTI. В зависимости от конструктивного исполнения топливной рампы были опробованы различные способы подключения датчиков давления топлива к гидравлической системе топливной аппаратуры.

На автомобиле Skoda датчик давления подключался с помощью тройника к подводящему трубопроводу под углом  $90^\circ$  на входном штуцере топливной рампы (рис. 2, поз. 10).



**Рис. 2.** Схема подключения датчика давления на автомобиле Skoda Octavia 1.8 T: 1 — топливный бак; 2 — топливный насос; 3 — топливный фильтр; 4 — нагнетательный трубопровод; 5 — РДТ; 6 — форсунки; 7 — топливная рампа; 8 — линия обратного слива топлива; 9 — тройник; 10 — датчик давления топлива

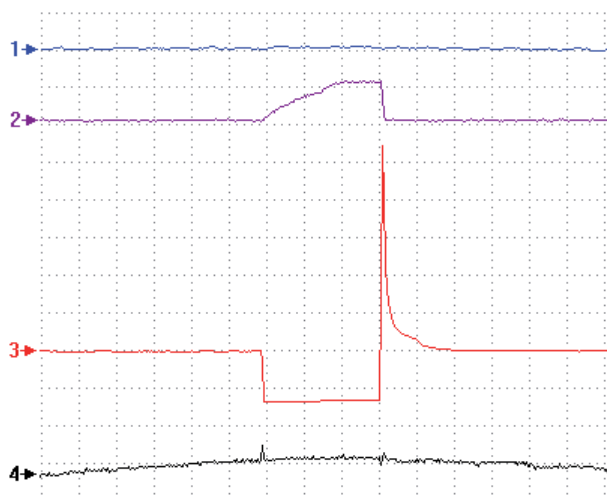
При проведении испытаний на автомобиле VW Golf предусмотренной конструкцией топливной рампы диагностический штуцер позволил подключить датчик давления непосредственно к топливной рампе (рис. 3, поз. 10).



**Рис. 3.** Схема подключения датчика давления на автомобиле VW Golf GTI: 1 — топливный бак; 2 — топливный насос; 3 — топливный фильтр; 4 — нагнетательный трубопровод; 5 — РДТ; 6 — форсунки; 7 — топливная рампа; 8 — линия обратного слива топлива; 9 — тройник; 10 — датчик давления топлива

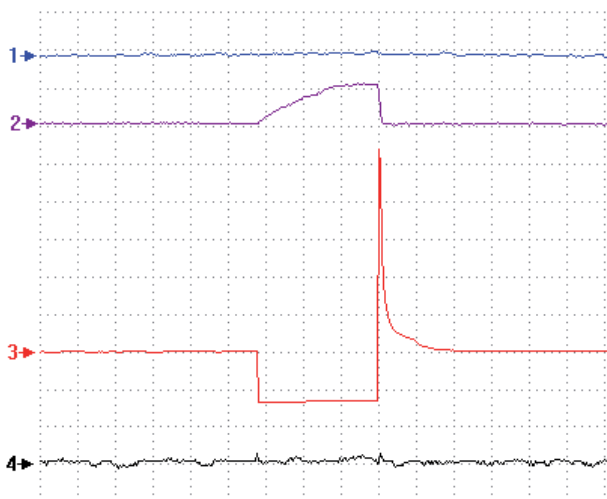
### 6. Анализ осциллограмм с датчиками давления PST-F и PSS-260

При анализе осциллограмм полученных при таком способе подключения датчика был сделан вывод, что данный способ непригоден для получения достоверной информации о гидравлических процессах, протекающих в топливной рампе. При использовании датчика PST-F колебания давления были видны, но имели сглаженную характеристику, непригодную для извлечения из нее какой-либо информации (рис. 4).



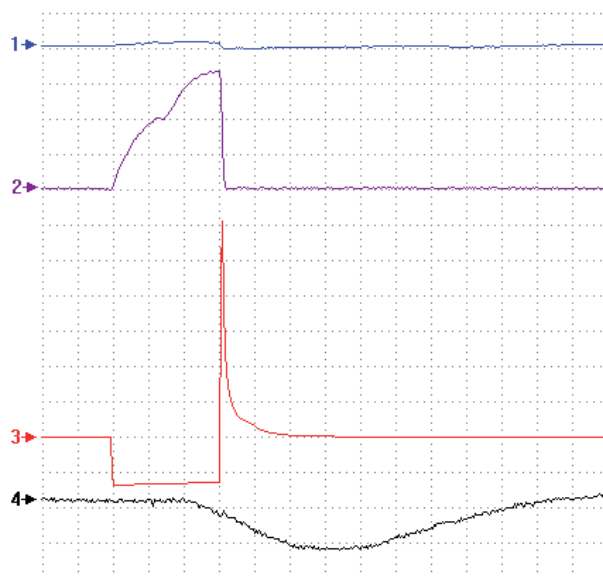
**Рис. 4.** Осциллограммы с датчиком давления PST-F на установленном режиме работы двигателя автомобиля Scoda Octavia 1,8 T: 1 — расхода воздуха; 2 — сила тока на управляющем сигнале форсунки; 3 — сигнал управления топливной форсункой; 4 — давления топлива

Датчик PSS-260, при данном способе подключения, фиксировал общее изменение давления в топливной системе, но вследствие несоответствия рабочего диапазона и чувствительности датчика амплитуде протекающих гидравлических процессов колебания не были замечены (рис. 5).



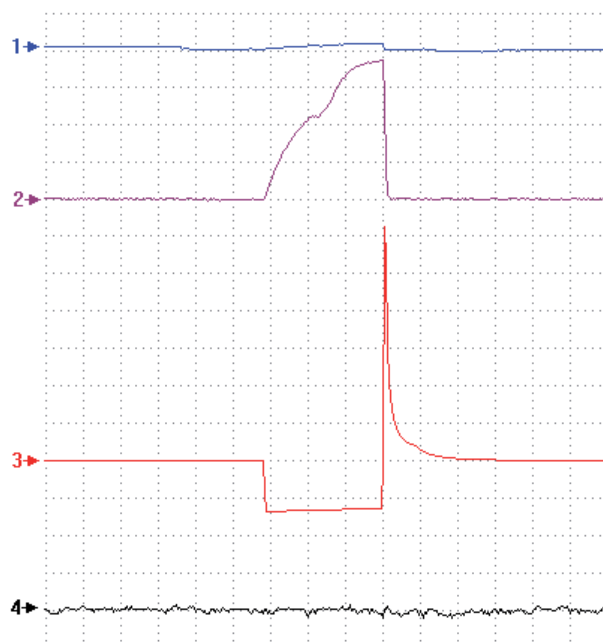
**Рис. 5.** Осциллограммы с датчиком давления PSS-260 на установленном режиме работы двигателя Scoda Octavia 1,8 T: 1 — расхода воздуха; 2 — сила тока на управляющем сигнале форсунки; 3 — сигнал управления топливной форсункой; 4 — давления топлива

Подключенный через штуцер, предназначенный для измерения давления, датчик PST-F зарегистрировал падение давления при впрыске топлива. Провал давления хорошо заметен на рис. 6.



**Рис. 6.** Осциллограммы с датчиком давления PST-F на установленном режиме работы двигателя VW Golf GTI: 1 — расхода воздуха; 2 — сила тока на управляющем сигнале форсунки; 3 — сигнал управления топливной форсункой; 4 — давления топлива

При использовании датчика давления PSS-F наблюдалось лишь общее повышение давления (рис. 7).



**Рис. 7.** Осциллограммы с датчиком давления PSS-260 на установленном режиме работы двигателя VW Golf GTI: 1 — расхода воздуха; 2 — сила тока на управляющем сигнале форсунки; 3 — сигнал управления топливной форсункой; 4 — давления топлива

Как показал анализ полученных осциллограмм, способ подключения непосредственно в рампу испытуемого автомобиля оказался наиболее информативен. По сигналу,

записанному при помощи датчика PST-F, стало возможным наблюдение ярко выраженного провала давления в момент открытия форсунок (рис. 5).

Датчик PSS-260 колебаний не обнаружил вследствие несоответствия рабочего диапазона и чувствительности датчика амплитуде протекающих гидравлических процессов (рис. 6).

### 7. Обсуждение результатов исследования влияния местоположения для различных типов датчиков давления

Проведенные исследования показали возможность применения для диагностирования датчика давления топлива PST-F, который штатно устанавливается на топливную аппаратуру автомобилей с непосредственным впрыском. Данный датчик можно использовать для ускоренного поиска неисправностей в системе питания автомобилей с инжекторным впрыском топлива. Исследования могут быть полезны не только ученым, занимающимся исследованиями волновых процессов в гидравлических системах, но и имеют практическое значение для работников станций технического обслуживания автомобилей. Достоинством данного метода исследования является то, что данный датчик является готовым решением для регистрации процессов колебания давления топлива, а к недостаткам данного метода можно отнести необходимость частичной разборки топливной аппаратуры. В дальнейших исследованиях следует обратить внимание на поиск такого метода исследования, который бы позволял проводить исследования без частичной разборки аппаратуры.

### 8. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Получена достоверная информация о протекании гидравлических процессов в топливной системе. Это стало возможным только при подключении датчика непосредственно к топливной рампе.

2. Проанализирована чувствительность двух датчиков, которые штатно устанавливаются на топливной аппаратуре некоторых автомобилей и выбрано место подключения датчика для регистрации процессов колебания давления.

3. Сделан вывод о непригодности датчика PSS-260, вследствие его большого диапазона (0–14 МПа) измеряемого давления и соответственно малой чувствительности в диапазоне давлений данной топливной аппаратуры (0,025–0,035 МПа). При подключении такого датчика давления к подводному трубопроводу топливной аппаратуры изменение давления возможно наблюдать, но для целей диагностирования данный способ подключения не достаточно информативен и достоверен.

4. Рекомендуются использовать датчик давления PST-F для получения достоверной информации о протекании колебательных процессов в топливной аппаратуре инжекторного двигателя с впрыском во впускной коллектор.

### Литература

1. Зенкин, Е. Ю. Анализ технического состояния топливной аппаратуры на основе колебаний давления топлива в гидроаккумуляторе [Текст] / Е. Ю. Зенкин // Двигатели внутреннего сгорания. — 2009. — № 1. — С. 144–148.

2. Системы управления бензиновыми двигателями Bosch. Узлы и агрегаты [Текст] / пер. с нем. Н. Понкратова. — М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. — 432 с.
3. Ahlin, K. Modeling of pressure waves in the Common Rail Diesel Injection System [Electronic resource]: Master's Thesis / K. Ahlin. — Linköping University, Sweden, 2000. — Available at: \www/URL: [https://www.fs.isy.liu.se/en/Publications/MSc/00\\_EX\\_3081\\_KA.pdf](https://www.fs.isy.liu.se/en/Publications/MSc/00_EX_3081_KA.pdf)
4. Shaw, C. T. Using Computational Fluid Dynamics Prentice Hall [Text] / C. T. Shaw. — Washington, 1992. — 315 p.
5. Chen, G. Unsteady Multiphase Intake Flow in a Port-injected Gasoline Engine [Text] / G. Chen, S. K. Aggarwal // SAE Technical Paper Series. — SAE International, 1996. — P. 59–69. doi:10.4271/960074
6. Булгаков, М. П. Діагностування паливних систем з безпосереднім упорскуванням за коливаннями тиску палива у рампі [Текст] / М. П. Булгаков. — Вісник НТУ «ХПІ». — 2014. — № 9(1052). — С. 140–145.
7. Hu, Q. Modelling of Dynamic Responses of an Automotive Fuel Rail System, Part I: Injector [Text] / Q. Hu, S. F. Wu, S. Stottler, R. Raghupathi // Journal of Sound and Vibration. — 2001. — Vol. 245, № 5. — P. 801–814. doi:10.1006/jsvi.2000.3605
8. Ковальчук, Л. И. Диагностирование систем топливоподачи бензиновых ДВС по параметрам волновых процессов в топливной рампе [Текст] / Л. И. Ковальчук, Г. А. Гусев // Автомобильная промышленность. — 2011. — № 4. — С. 25–26.
9. Stiesch, G. Modeling Engine Spray and Combustion Processes [Text] / G. Steisch. — Berlin: Springer, 2003. — 282 p. doi:10.1007/978-3-662-08790-9
10. Fox, J. A. Transient Flow in Pipes, Open Channels and Sewers [Text] / J. A. Fox. — Ellis Horwood Ltd, 1989. — 284 p.

### ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ДАТЧИКІВ ТИСКУ ПАЛИВА ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ПРОЦЕСІВ КОЛИВАННЯ

Досліджено вплив місця розташування для різних типів датчиків тиску на точність та достовірність реєстрації значень коливання тиску палива на апаратурі бензинових инжекторних двигунів. Визначено вимоги до датчиків тиску. Пропонується до розробки стенд для таких випробувань. Результати можуть бути використані для діагностування паливної апаратури будь-яких бензинових двигунів.

**Ключові слова:** датчик, тиск палива, процеси коливання, обладнання для діагностування, осцилограми.

*Булгаков Николай Петрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра технической эксплуатации и сервиса автомобилей, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, e-mail: npbulgakov@mail.ru.*

*Зенкин Евгений Юрьевич, кандидат технических наук, ассистент, кафедра технической эксплуатации и сервиса автомобилей, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина.*

*Булгаков Микола Петрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технічної експлуатації та сервісу автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.*

*Зенкін Євген Юрійович, кандидат технічних наук, ассистент, кафедра технічної експлуатації та сервісу автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.*

*Bulgakov Nickolay, Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine, e-mail: npbulgakov@mail.ru.*

*Zenkin Jevgen, Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine*