

УДК 621.43

ИНДИЦИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРИГИНАЛЬНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

А.М. Левтеров, к.т.н., с.н.с., А.Н. Авраменко, к.т.н., с.н.с.,
В.Н. Бганцев, к.т.н., с.н.с., Институт проблем машиностроения
им. А.Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков

Аннотация. Приведены основные этапы создания малогабаритного датчика давления для индицирования дизеля. В качестве индикаторного канала в головке цилиндров используется штатное отверстие под свечу накаливания. Для усиления сигнала использовалась тензостанция переменного тока.

Ключевые слова: дизель, индицирование, датчик давления, индикаторный канал, аналого-цифровой преобразователь.

ІНДИЦЮВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ОРИГІНАЛЬНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ДАТЧИКА ТИСКУ

А.М. Левтеров, к.т.н., с.н.с., А.М. Авраменко, к.т.н., с.н.с., В.М. Бганцев, к.т.н.,
с.н.с., Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного
НАН України, м. Харків

Анотація. Наведено основні етапи створення малогабаритного датчика тиску для індиціювання дизеля. Як індикаторний канал у головці циліндрів використовується штатний отвір під свічку розжарювання. Для підсилення сигналу використовувалась тензостанція змінного струму.

Ключові слова: дизель, індиціювання, датчик тиску, індикаторний канал, аналого-цифровий перетворювач.

INDICATION OF THE AUTOMOBILE DIESEL ENGINE WITH THE USE OF THE ORIGINAL SMALL-SIZED PRESSURE GAUGE

A. Levterov, Ph. D. (Eng.), Sr. Researcher, A. Avramenko, Ph. D. (Eng.), Sr. Researcher,
V. Bgantsev, Ph. D. (Eng.), Sr. Researcher, A. Podgorny Institute for Mechanical
Engineering Problems of the NAS of Ukraine, Kharkiv

Abstract. The basic stages of creating a small-sized pressure gauge for indication of the diesel engine are resulted. A regular aperture for the glow plug is used as a display channel in the cylinder head. To intensify the signal there was used a tensor station of alternating current.

Key words: diesel engine, indication, pressure gauge, display channel, analog-digital converter.

Введение

Исследование рабочих процессов ДВС на современном уровне невозможно без индицирования [1–9]. Расшифровка индикаторных диаграмм позволяет получить данные об изменениях основных внутрицилиндровых

параметров в течение рабочего цикла (давление, температура, скорость тепловыделения, коэффициент использования теплоты и индикаторные показатели).

Эти данные в дальнейшем используются для анализа процессов смесеобразования и сго-

рания в цилиндре ДВС, верификации и последующего уточнения математических моделей, используемых для моделирования рабочих процессов ДВС.

Анализ публикаций

Для индцирования ДВС получили распространение датчики давления тензометрического и пьезоэлектрического типов. Пьезоэлектрические датчики давления широко используются такими фирмами, как «AVL», «Ricardo» и «Kistler» [1–3]. Конструктивно малогабаритные пьезодатчики давления выполнены в корпусе из нержавеющей стали с жидкостным или воздушным охлаждением. Размеры датчиков зависят от типоразмера двигателя [1–3, 10–12]. По способу установки в головку цилиндров пьезодатчики давления могут устанавливаться в индикаторный канал либо вместо штатной свечи зажигания (для двигателя с искровым зажиганием) или вместо свечи накаливания (для дизеля) [3].

Основными преимуществами пьезоэлектрических датчиков являются:

- возможность достижения достаточно высокой частоты собственных колебаний (до 40 кГц), что позволяет надёжно регистрировать быстропеременные процессы в быстроходных ДВС;
- компактность конструкции датчика.

Основные недостатки:

- тарировка только в динамике;
- после ограниченного количества циклов – дрейф характеристики датчика, связанный с необратимыми изменениями в пьезокерамике;
- высокая стоимость самого пьезодатчика и специальных усилителей сигнала.

Датчики давления тензометрического типа используются в последнее время редко ввиду сложности оснащения тензодатчиками активного элемента (стаканчика или диафрагмы), больших габаритных размеров (по сравнению с малогабаритными пьезодатчиками давления, выпускаемыми промышленностью) и меньшей частоты собственных колебаний.

Основными преимуществами датчиков давления тензометрического типа являются:

- относительно низкая стоимость;
- возможность тарировки в статике;

- простота конструкции (возможность изготовления без уникального заводского оборудования);
- достаточно высокая надёжность и стабильные параметры в процессе эксплуатации.

Основные недостатки:

- к числу основных недостатков следует отнести необходимость использования для усиления сигнала таких датчиков высокостабильных тензометрических усилителей с компенсацией дригера нуля датчика.

Таким образом, согласно данным литературного обзора можно сделать вывод, что дальнейшее использование датчиков давления тензометрического типа для индцирования ДВС целесообразно с целью снижения начальных затрат на формирование измерительного канала.

Цель и постановка задачи

Целью работы является разработка малогабаритного датчика давления тензометрического типа и снятие массива индикаторных диаграмм на автомобильном дизеле Skoda 1,9 TDI.

В работе ставились такие задачи:

- провести литературный обзор по современным системам и датчикам для индцирования ДВС;
- разработать оригинальную конструкцию малогабаритного датчика давления тензометрического типа;
- с использованием метода конечных элементов оценить уровень деформаций основных элементов датчика давления при воздействии термомеханических нагрузок, характерных для режима номинальной мощности исследуемого дизеля;
- провести тарировку датчика давления;
- сформировать измерительный канал для индцирования дизеля в составе моторного стенда;
- зарегистрировать массив индикаторных диаграмм при работе дизеля на эксплуатационных режимах;
- обработать результаты индцирования, сделать выводы и сформулировать рекомендации о применимости конструкции разработанного малогабаритного датчика давления для индцирования автомобильных дизелей.

Основные этапы и результаты исследования

Основные этапы и результаты исследования сводятся к следующему. Проанализировав существующие варианты конструктивного исполнения малогабаритных датчиков давления, применительно к конструктивным

особенностям автомобильного дизеля Škoda 1,9 TDI авторы выбрали вариант конструкции малогабаритного датчика давления с посадочными размерами, идентичными штатной свече накаливания дизеля. Краткая техническая характеристика дизеля представлена в табл. 1.

Таблица 1 Краткая техническая характеристика дизеля Skoda 1,9 TDI

№	Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
1	Диаметр цилиндра	D	79,5	мм
2	Ход поршня	S	95,5	мм
3	Количество цилиндров	z	4	–
4	Номинальная мощность	N_e	66	кВт
5	Частота вращения коленчатого вала на номинальном режиме	n_n	4000	мин ⁻¹
6	Максимальный крутящий момент	$M_{кр\ max}$	202	Нм
7	Частота вращения коленчатого вала на режиме $M_{кр\ max}$	n	1900	мин ⁻¹

На первом этапе была разработана конструкция малогабаритного датчика давления и проведены расчётные исследования по оценке уровня термомеханических деформаций корпуса и активного элемента – диафрагмы датчика давления применительно к работе на эксплуатационных режимах. Фотографии штатной свечи накаливания, малогабаритного датчика давления и внешний вид диафрагмы представлены на рис. 1.



Рис. 1. Штатная свеча накаливания (а), малогабаритный датчик давления (б) и диафрагма (в)

Датчик состоит из корпуса, вставной гильзы со сквозным отверстием, активного элемента – диафрагмы, нажимной втулки, магистрали подачи охлаждающего воздуха и нажимной гайки. Диафрагма толщиной 0,3 мм изготовлена из бериллиевой бронзы и имеет диаметр 5 мм. Остальные элементы датчика давления изготовлены из нержавеющей стали.

После сборки оснащенная тензодатчиком диафрагма опирается на опорный буртик, выполненный внутри вставной гильзы, а сверху на нее воздействует нажимная втулка, оснащенная компенсационным тензодатчиком. Усилие прижатия, реализуемое затяжкой нажимной гайки, выбирается на основе результатов проведенного численного моделирования, по оценке уровня термомеханических деформаций основных элементов датчика (этап 1). Охлаждение датчика – воздушное, под давлением 0,01–0,02 МПа. Результаты численного моделирования процесса термомеханической деформации малогабаритного датчика давления представлены на рис. 2.

Внешний вид расчетной области в меридиональном сечении датчика давления вдоль его оси приведен на рис. 2, а. Конечноэлементная сетка, описывающая конфигурацию элементов датчика давления, насчитывает 70212 конечных элементов (рис. 2, б). Задача решается с учётом возможного проскальзывания опорной поверхности диафрагмы относительно ответных контактных поверхностей вставной гильзы и нажимной втулки.

Термомеханическая деформация основных элементов датчика давления для уровня нагрузки на датчик, возникающая при работе дизеля на режиме номинальной мощности с возможным максимальным давлением сгорания 12 МПа и температурой корпуса датчика 120 °С, приведена на рис. 2, в.

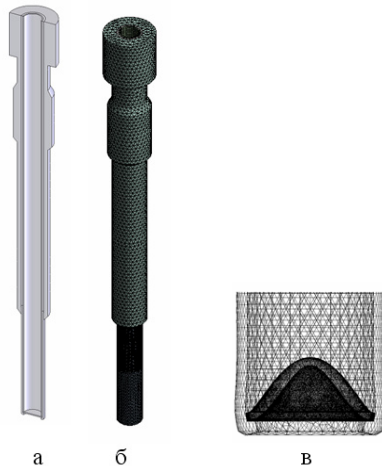


Рис. 2. Расчетная область (а), конечноэлементная сетка (б) и деформация элементов датчика давления (в)

Максимальная расчётная осевая деформация (прогиб) диафрагмы датчика составила 10 мкм – в центральной части диафрагмы (на рис. 2, в нажимная втулка не показана), а в области наклейки подложки тензодатчика деформация изменяется от 1 до 6 мкм, что говорит о достаточной чувствительности и находится в пределах рабочих характеристик тензоусилителя.

На втором этапе работы на диафрагму и нажимную втулку были наклеены тензорезисторы с номинальным сопротивлением 100 Ом, а также выполнена распайка электрического разъёма малогабаритного датчика давления. Далее, согласно схеме измерений (рис. 3), был собран измерительный канал для индицирования дизеля.

В общем виде измерительный канал состоит из малогабаритного датчика давления, тензо-

усилителя, аналого-цифрового преобразователя (АЦП), персонального компьютера (ПК) с программным обеспечением для регистрации сигнала от АЦП и электрических коммуникаций.

Используемый в составе измерительного канала АЦП имеет следующие характеристики:

- количество каналов – 2;
- частота дискретизации 100–200 кГц;
- входное напряжение – 20– +20 В (аппаратно 2 поддиапазона);
- разрядность АЦП – 10 бит.

На третьем этапе была проведена статическая тарировка малогабаритного датчика давления с использованием образцового грузопоршневого манометра. При тарировке датчик нагревался до температуры 90 °С для моделирования работы в реальных условиях эксплуатации.

По результатам тарировки был получен масштабный коэффициент давления для диапазона от 1 до 12 МПа. Установлено, что изменение сигнала носит линейный характер в рабочем исследуемом диапазоне давлений.

На четвёртом этапе был собран измерительный канал для индицирования в условиях моторного стенда с дизелем Škoda 1,9 TDI. Малогабаритный датчик давления был установлен вместо свечи накаливания третьего цилиндра. Далее были проведены моторные испытания с регистрацией массива индикаторных диаграмм. После регистрации массива индикаторных диаграмм при работе дизеля на характерных эксплуатационных режимах сделана выборка из 120 индикаторных диаграмм с последующим усреднением и обработкой согласно существующим методикам [8, 9].

Результирующая индикаторная диаграмма, изменение температуры и относительной характеристики использования теплоты в цилиндре дизеля представлены на рис. 4.

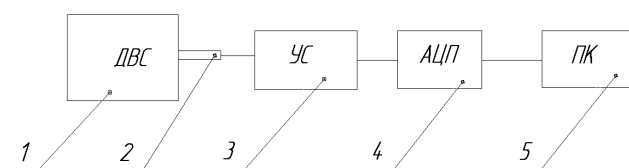


Рис. 3. Измерительный канал для индицирования дизеля: 1 – дизель; 2 – малогабаритный датчик давления; 3 – тензоусилитель; 4 – АЦП; 5 – персональный компьютер

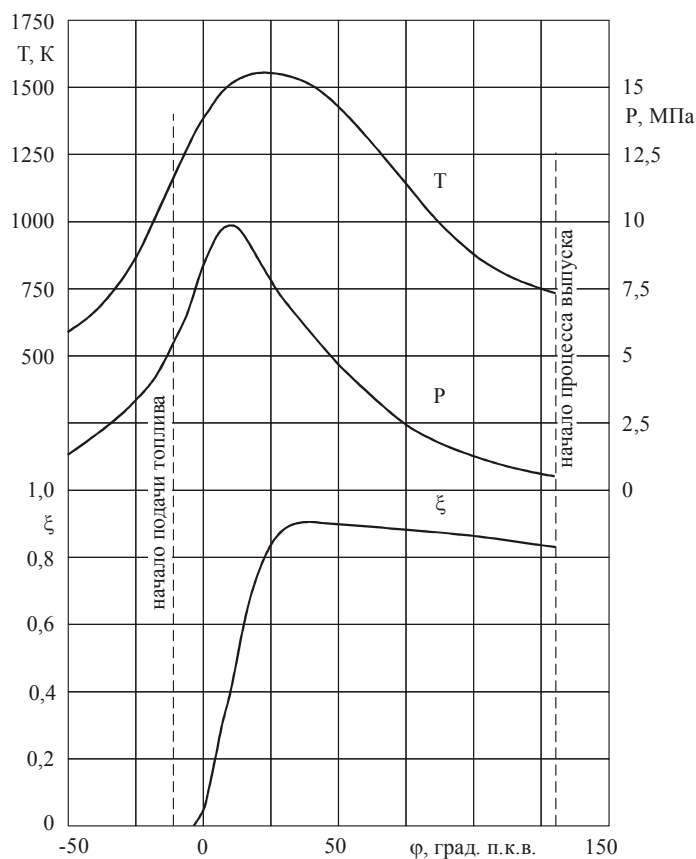


Рис. 4. Экспериментальная индикаторная диаграмма и результаты ее обработки (режим с нагрузкой 50 %): P , T – давление и температура в цилиндре дизеля; ξ – относительная характеристика использования теплоты

Максимальное давление цикла P_z составляет 9,92 МПа, при угле максимального давления $\varphi_z = 10$ град. п.к.в. после ВМТ. Максимальная температура цикла достигает 1580 К при 22 град. п.к.в. после ВМТ.

Выводы

По результатам проведённой работы можно сделать выводы:

– в процессе индицирования дизеля датчик разработанной конструкции показал достаточно высокую стабильность электрических параметров;

– датчик может быть использован в составе современных средств измерения деформаций и представления результатов измерений;

– в связи с близостью типоразмеров свечей накаливания в дизелях разных типов разработанный авторами малогабаритный датчик давления имеет достаточный спектр применения по условиям установки в этих двигателях.

Литература

1. Borgers M. Drucksensor-Glühkerze (PSG) für Dieselmotoren / M. Borgers, M. Haußner, H. Houben et al // MTZ. – 2004. – No.11. (65). – P. 888–895.
2. Shunichi K. Evaluation of the calculation accuracy of local Air/Fuel ratio using VECTIS/WAVE / K. Shunichi // Ricardo Software 6th Seminar, 9-10 June 2010, London.
3. Sellnau M.C. Cylinder-Pressure-Based Engine Control using Pressure-Ratio-Management and Low-Cost Non-Intrusive Cylinder Pressure Sensors / M.C. Sellnau // SAE Technical Paper Series 2000-01-0932.
4. Rajendiran G. Experimental investigation on combustion analysis of multicylinder direct injected diesel engine using diesel-biodiesel-DEE as alternative fuel / G. Rajendiran, R. Subramanian, R. Venkatachalam, N. Nedunchezian, K. Mayilsamy // International Journal of Ambient Energy. – 2013. – No 2 (34). – P. 44–58.
5. Jeschke J. Conception and test of a cylinder-pressure based engine management for

- passenger car diesel engines: Dissertation Ph. D. / J. Jeschke. – University of Magdeburg, Germany, 2003.
6. Sellnau M. Cylinder-Pressure-Based Engine Control Using Pressure-Ratio-Management and Low-Cost Non-Intrusive Cylinder Pressure Sensors / M. Sellnau, F.A. Matekunas, P.A. Battiston et al // SAE Paper No. 2000-01-0932, 2000.
 7. Huelser H. Cylinder-pressure-based Engine Control for Diesel Engines / H. Huelser, K. Neunteufl, E. Unger and B. Breitegger // 5th IAV Symposium, 9–10 June 2005, Berlin, 2005.
 8. Грицюк А.В. Выбор формы камеры сгорания для высокооборотного малолитражного дизеля / А.В. Грицюк, И.В. Парсиданов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – Вып. 1. – С. 24–28.
 9. Прохоренко А.А. Влияние двухстадийного сгорания на индикаторные показатели автотракторного дизеля / А.А. Прохоренко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – Вып. 1. – С. 63–69.
 10. Ulrich O. High-Accuracy Low-Cost Cylinder Pressure Sensor for Advanced Engine Controls / O. Ulrich, R. Wlodarczyk and M.T. Wlodarczyk // SAE paper No. 2001-01-0991.
 11. Pffhal U. Combustion, Aftertreatment and Control Key Elements for Emission Reduction of US HSDI Diesel Engines / U. Pffhal // ERC Symposium, Madison, Wisconsin, 2005.
 12. Schiefer D. Advantages of Diesel Engine Control using In-Cylinder Pressure Information for closed loop control / D. Schiefer, R. Maennel and W. Nordoni // SAE paper 03P-162.
- Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
- Статья поступила в редакцию 22 февраля 2016 г.
-