



ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ПРОЦЕССОМ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Худяков И.В.

Херсонская государственная морская академия

В статье приводится анализ эксплуатационных характеристик датчиков измерения давления различных типов, и возможность их применения для управления рабочим процессом в СДВС. Одной из основных проблем эффективного управления является отсутствие непрерывного и высокоточного контроля в реальном масштабе времени. Для этой цели необходимы датчики, которые удовлетворяли бы ряду требований – широкий диапазон температур и давлений, устойчивость к агрессивным средам, высокое быстродействие, малое энергопотребление, простота установки, высокая надежность и длительный срок эксплуатации, инвариантность к воздействию электромагнитных полей и вибрациям. Использование таких датчиков в системах управления двигателем также, позволит осуществлять оценку технического состояния СДВС.

Ключевые слова: оптоволоконный датчик давления, тензорезистивный датчик давления, индуктивный датчик давления, пьезоэлектрический датчик давления, рабочий процесс двигателя.

Актуальность проблемы. Ужесточение требований по экологической безопасности и проблемы снижения расхода топлива при эксплуатации судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС) вынуждают внедрять высокотехнологические решения, одним из которых является применение электронных систем автоматического управления (САУ) двигателем. САУ СДВС сочетает информационно-измерительные и управляющие функции как по отношению к объекту управления, так и к условиям его функционирования. Осуществляет функции сбора, обработки, преобразования параметров модели, управление исполнительными механизмами СДВС, а также обеспечивает человеко-машинное решение задач управления судовым дизелем. Такие системы позволяют оперативно управлять работой двигателей на основе показаний датчиков. Одной из основных характеристик отражающих режим работы и состояние СДВС является давление внутри цилиндра. Трудность контроля этого параметра заключается в том, что чувствительный элемент датчика непосредственно соприкасаются с рабочим телом находящимся внутри цилиндра двигателя, и соответственно подвергаются ряду физических и химических воздействий (коррозия, эрозия, высокая температура, высокое давление и т.д.). В настоящее время датчики способные длительно и надежно работать в таких условиях, отсутствуют. Поэтому информация, необходимая для управления рабочим процессом в СДВС собирается косвенным путем.

Цель данной статьи состоит в обосновании выбора типа датчика для систем управления двигателем, способного в течении длительного времени работать в условиях характерных для цилиндра двигателя с удовлетворительной для поставленной задачи точностью. Кроме того, регистрация текущего значения давления, даст разнообразную информацию о качестве работы элементов и систем двигателей, и позволяет анализировать причины их неисправностей в процессе эксплуатации.

Анализ литературных источников. На протяжении более ста лет ведутся поиски наиболее совершенной и удобной аппаратуры для регистрации внутрицилиндровых рабочих процессов. Ниже приведены основные требования к первичным преобразователям [1, 2]:

1. Необходимая точность.
2. Стабильность характеристик.
3. Надежность работы и удобство эксплуатации (простота конструкции).
4. Работа при больших температурах.
5. Работа в агрессивных средах.
6. Быстродействие.



7. Достаточно продолжительный ресурс работы.
8. Приемлемые габариты.
9. Сравнительная дешевизна.
10. Инвариантность к магнитным полям и вибрации.

Для решения поставленной задачи особое значение имеют такие характеристики, как быстроедействие, работа при больших температурах, в агрессивных средах, стабильность и достаточно продолжительный ресурс работы.

В связи с развитием микропроцессорных технологий процесс обработки информации и выработки управляющих сигналов упростился и не требует установки сложной и дорогостоящей аппаратуры. Однако открытым остается вопрос использования достаточно не дорогих индикаторных датчиков способных сохранять свои рабочие характеристики на протяжении всего срока эксплуатации [3].

В настоящее время на рынке измерительных систем и датчиков доминирующее положение продолжают занимать электронные измерительные технологии. Они предполагают преобразование измеряемого параметра в электрический сигнал и последующую его обработку. Широкое применение здесь получили тензометрические, индуктивные, емкостные и пьезоэлектрические преобразователи. Все они имеют достаточно хорошо разработанную теоретическую базу.

Альтернативой подобному подходу является использование волоконно-оптических систем измерения [3]. Где измеряемый параметр преобразуется в оптический сигнал, а затем в электрический. Такие датчики обладают высокой стабильностью, помехоустойчивостью, высокой амплитудой сигнала, что в свою очередь позволяет не применять усилители сигнала. Оптоволоконные датчики подразделяются на: фазовые, со спектральным кодированием; амплитудные; туннельные и поляризационные.

Согласно [4], наибольшее распространение получили оптоволоконные датчики, использующие фазовую (интерферометрические датчики) и амплитудную модуляции. При этом амплитудные датчики (при прочих равных условиях) более дешевы и просты в изготовлении и эксплуатации, однако иногда проигрывают интерферометрическим в точности и разрешающей способности.

Основной узел амплитудного оптоволоконного датчика (ОВД) – чувствительный элемент, а также его соединение с основанием могут быть изготовлены из материалов и с помощью методов, применяющихся для изготовления изделий микроэлектроники. Эти материалы и методы в настоящее время хорошо отработаны, что позволит получать совершенные конструкции чувствительных элементов при минимуме затрат на разработку [5].

Результаты измерений, полученных с помощью амплитудных оптоволоконных датчиков просто анализировать, в том числе с помощью средств вычислительной техники.

Одна из простейших конструкций амплитудного датчика является схема, где перемещение диафрагмы моделирует интенсивность отраженной световой волны [4, 6, 7].

Результат исследования. В зависимости от применяемого чувствительного элемента различают различные виды датчиков, рассмотрим эксплуатационные характеристики датчиков, наиболее часто используемых в различных отраслях промышленности:

- тензорезистивные датчики давления;
- пьезоэлектрические датчики давления;
- индуктивные датчики давления;
- оптоволоконные датчики давления.

Вопрос о том, датчику с каким типом первичного преобразователя отдать предпочтение, является предметом основного исследования в данной статье, посвященной анализу метрологических и эксплуатационных характеристик датчиков.



В настоящее время для измерения быстротекущих процессов изменения давления используются несколько основных видов датчиков. Применимость каждого из них в системах управления рабочим процессом в СДВС будет рассмотрена.

Тензорезистивный датчик давления. Тензорезистивные датчики давления используют ранее отработанную конструкцию механической мембраны с установленным на ней первичным преобразователем – тензорезистором. Преимуществом данных типов датчиков стала более высокая точность измерений по сравнению с механическими и индукционными датчиками, наличие унифицированного токового выхода, более высокая надежность. Недостатки тензометрических датчиков давления связаны с механической усталостью тензорезисторов, надежность которых оказалось ниже надежности механических мембран, на которых они расположены. Кроме того, тензорезисторы требуют определенных температурных условий для своей работы, что невыполнимо в условиях эксплуатации внутри цилиндра ДВС.

Индуктивный датчик давления. Основан на регистрации вихревых токов (токов Фуко). Чувствительный элемент состоит из двух катушек связанных между собой металлическим экраном. К достоинствам этого метода можно отнести простоту и прочность конструкции, значительная чувствительность, относительно большую выходную мощность. К недостаткам – большая инерционность системы, довольно значительный дрейф нуля, чувствительность к магнитным воздействиям, что объясняется наличием катушек; возможность работы только на переменном токе; чувствительность к вибрациям и ударам.

На практике, в виду своих недостатков, одиночный индуктивный преобразователь применяется очень редко, в основном используется дифференциальный индуктивный преобразователь.

Пьезоэлектрический датчик давления. Работа пьезоэлектрических датчиков давления основана на использовании прямого пьезоэлектрического эффекта, при котором пьезоэлемент генерирует электрический сигнал, пропорциональный действующей на него силе. Характеризуются высокими динамическими свойствами, однако работающие без модуляции нагрузок они мало пригодны для измерения медленно меняющихся и постоянных давлений, так как при этом имеет место стекание заряда с пьезоэлектрических пластин. Так же к достоинствам можно отнести простоту конструкции, малую чувствительность к магнитным полям, достаточную ударную прочность. Важным фактором обеспечения надежной работы пьезоэлектрических датчиков давления, является защита их от воздействия влаги и солей, так как небольшое содержание влаги и солей может привести к значительному снижению выходного сигнала. Особенно сильное влияние на погрешность преобразователя оказывают изменения температуры и влажности окружающей среды, сказывающиеся на геометрических размерах преобразователя и диэлектрической проницаемости воздуха. Наконец для достижения максимальной чувствительности монтажные провода должны быть очень короткими, что не всегда удобно.

Оптоволоконный датчик давления. Наряду с уже апробированными традиционными методами получения информации сегодня появились новые методы, основанные на оптоволоконных (ОВ) технологиях. Оптоволоконные датчики давления являются довольно точными, и их работа не зависит от колебаний температуры. Чувствительным элементом является мембрана. Об измеряемой величине давления в таких приборах обычно судят по изменению амплитуды и поляризации потока света. Исследование характеристик показало, что датчики данного типа обладают: большой амплитудой выходного сигнала; отсутствием необходимости значительного усиления; возможностью статической тарировки; простотой конструкции; отсутствием прямого контакта между диафрагмой и чувствительным элементом, а так же ряд других преимуществ.

Отличительные особенности оптоволоконных датчиков давления:



- возможность работы при больших температурах;
- устойчивость к электромагнитным помехам и коррозии;
- большая величина выходного сигнала;
- высокая надежность и длительный срок эксплуатации системы;
- быстродействие.

Унікальним свойством волоконно-оптичного принципу преобразования является его универсальность: на его основе можно реализовать ОВД для контроля практически любой физической величины, чего нельзя сказать о других принципах преобразования. Преимущества ОВД еще четче обозначают перспективность и целесообразность их применения.

На основании исследований принципов преобразования измерительной информации в изменение параметров оптического сигнала определено [1, 3, 6], что наиболее эффективно реализуются оптоволоконные датчики давления (ОВДД), принцип действия которых основан на модуляции интенсивности светового потока под действием измеряемой физической величины. Большинство схем амплитудной модуляции не требует когерентных источников излучения.

Использование компенсационных и дифференциальных схем, а также возможность проведения многопараметровых измерений за счет применения большого количества амплитудных ОВДД позволяют повысить точность измерений.

ОВДД отражательного типа составляют самую обширную группу среди амплитудных оптоволоконных датчиков давления, что объясняется относительной простотой устройства датчика и совершенной технологией изготовления отражающих поверхностей [6, 7]. Наибольшее распространение получили зеркальные отражающие поверхности, не вносящие заметных неинформативных потерь светового потока в процессе измерения.

Ранее были приведены основные требования для выбора первичных преобразователей. Оценим их характеристики по десятибалльной шкале:

Таблица 1 – Оценочные характеристики датчиков давления.

<i>Параметры</i>	<i>Тензометрические датчики</i>	<i>Индуктивные датчики</i>	<i>Пьезоэлектрические датчики</i>	<i>Оптоволоконные датчики</i>
Необходимая точность	8	5	7	7
Стабильность характеристик	6	4	5	7
Быстродействие	5	3	8	8
Надежность	7	3	6	8
Габариты	9	4	8	6
Сравнительная дешевизна	5	8	6	7
Работа при больших температурах	4	4	3	8
Работа в агрессивных средах	2	4	4	9
Инвариантность к магнитным полям и вибрации	5	2	7	9
Суммарная характеристика	51	37	54	69



По результатам оценки видно, что оптоволоконные датчики амплитудного типа уступают датчикам других видов по таким характеристикам, как габариты и сравнительная дешевизна. Но учитывая поставленную задачу, эти характеристики не являются определяющими в выборе вида применяемого типа датчика. Для СДВС габариты датчика и его стоимость малозначимы.

Выводы. На сегодняшний день управление рабочими процессами ДВС осуществляется на основании данных, полученных косвенным путем. Для получения фактических значений параметров непосредственно характеризующих рабочие процессы СДВС автором статьи предлагается использование ОВДД отражательного типа, которые будут осуществлять контроль давления в реальном масштабе времени.

Предложенная конструкция датчика обладает такими качествами как: достаточная чувствительность, быстрое действие, устойчивость к электромагнитным помехам, устойчивость к коррозии и стабильность, что позволяет использовать их для решения поставленной задачи.

В результате проведенного в работе экспертного анализа установлено, что ОВДД наиболее полно отвечают сформулированным требованиям, имея максимальную суммарную характеристику 69 баллов. Что на 26 %, 46 % и 21 % выше, чем у широко используемых тензометрических, индуктивных и пьезоэлектрических датчиков соответственно.

Возможность получения фактической индикаторной диаграммы ДВС, с помощью ОВДД, для управления его рабочим процессом представляет большой интерес, так как позволяет вырабатывать управляющие сигналы на основе наиболее объективной информации о режиме работы двигателя. Данная информация, так же может использоваться для текущей диагностики технического состояния ДВС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенблит Г. Б. Датчики с проволочными преобразователями для исследования двигателей внутреннего сгорания / Розенблит Г. Б., Виленский П. И., Горелик Я. И. – М. : Машиностроение, 1966. – С. 30-38.
2. Испытание двигателей внутреннего сгорания / [Стефановский Б. С., Доколин Ю. М., Сорокин В. П. и др.] – М. : Машиностроение, 1972. – 357 с.
3. Соколов А. Н. Волоконно-оптические датчики и системы: принципы построения, возможности и перспективы. / Соколов А. Н., Яцеев В. А. // Lightwave : Russian Edition. – 200. – № 4. – С. 42-44.
4. Бусурин В. И. Волоконно - оптические датчики: физические основы расчета и применения / В. И. Бусурин, Ю. Р. Носов. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
5. Tohyama O. A fiber-optic silicon pressure sensor for ultra-thin catheters / O. Tohyama, M. Kohashi, K. Yamamoto // Sensors and actuators. – 1996 – № 54 – P. 622-625.
6. Белоусов Е. В. Опыт создания оптоволоконных датчиков для индикации рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания / Белоусов Е. В., Савчук В. П., Штанько А. Д. // Сборник научных трудов по материалам международной конференции «Двигатель – 2007», посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана – М. : изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – С. 131-135.
7. Белоусов Е. В. Опыт создания оптоволоконных датчиков для индикации рабочего процесса двигателей / Белоусов Е. В., Савчук В. П., Штанько А. Д. // Грузовик & Строительно-дорожные машины, автобус, троллейбус, трамвай. – М. : Машиностроение. – 2007. – № 12.



Худяков І.В. МОЖЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ДАТЧИКІВ ТИСКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОБОЧИМ ПРОЦЕСОМ У ДВЗ

У статті наводиться аналіз експлуатаційних характеристик датчиків виміру тиску різних типів, і можливість їх застосування для управління робочим процесом у СДВЗ. Однією з основних проблем ефективного управління є відсутність безперервного і високоточного контролю в реальному масштабі часу. Для цієї мети потрібні датчики, які задовольняли б ряду вимог, – широкий діапазон температур і тисків, стійкість до агресивних середовищ, висока швидкодія, мале енергоспоживання, простота установки, висока надійність і тривалий термін експлуатації, інваріантність до дії електромагнітних полів і вібрацій. Використання таких датчиків в системах управління двигуном також, дозволить здійснювати оцінку технічного стану СДВЗ.

Ключові слова: оптоволоконний датчик тиску, тензорезистивний датчик тиску, індуктивний датчик тиску, п'єзоелектричний датчик тиску, робочий процес двигуна.

Khudiakov I.V. THE POSSIBILITY OF APPLYING DIFFERENT TYPES OF PRESSDUCTORS FOR WORKFLOW MANAGEMENT IN ICE

The article provides the analysis for operational distinctive features of the pressure measuring sensors of the different types, and the possibility of their application for controlling working process in ICE ship. One of the basic problems of the effective controlling is an absence of continuous and high-fidelity control in real-time. For this goal is needed sensors that would satisfy to certain requirements - wide range of temperature and pressures, resistance to the aggressive environments, fast reaction time, low energy consumption, simplicity of setting, high reliability and long exploitation term, invariance to an influence of the electromagnetic fields and vibrations. Application of such sensors in engine control systems also will make it possible to carry out the estimation of the technical state of ICE ship.

Keywords: fiberglass pressductor, strain gauge pressductor, inductancia pressductor, piezoelectric pressductor, working process of engine.

Статтю прийнято
до редакції 28.03.14.