

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ОПТОВОЛОКОННЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИНДИЦИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Белоусов Е.В., Савчук В.П., Штанько А.Д. (Херсонский факультет Харьковско-го национального автомобильно-дорожного университета)

Актуальность проблемы. В настоящее время в измерительных комплексах для индицирования рабочих процессов ДВС доминирующее положение продолжают занимать электронные измерительные технологии, которые предполагают преобразование измеряемого параметра в электрический сигнал с последующим его усилением и обработкой. В то же время, за последнее десятилетие развитие оптоволоконных технологий привело к созданию целого семейства оптоволоконных датчиков с преобразованием измеряемого сигнала в оптический. Эти датчики по целому ряду параметров превосходят традиционные и во многих отраслях техники успешно с ними конкурируют. В этой связи целесообразно рассмотреть возможность использования оптоволоконных технологий для исследования рабочих процессов в ДВС, в частности, при разработке датчиков для индицирования рабочего процесса.

Анализ литературных источников. Для исследования различных процессов в ДВС наибольшее распространение получили диафрагменные датчики, применяющиеся при измерениях как статических, так и динамических давлений. Теоретическая база этих датчиков достаточно хорошо разработана [1, 2]. Для преобразования измерительного сигнала в электрический традиционно используются тензометрические, индуктивные, емкостные и пьезоэлектрические преобразователи [2]. Альтернативой подобному подходу является использование оптоволоконных преобразователей, в которых измеряемый параметр преобразуется сначала в оптический, а за тем в электрический сигнал [3, 4].

Последние годы оптоволоконные методы обработки сигналов получили широкое распространение. Существует большое количество оптоволоконных датчиков, в которых используются различные принципы преобразования сигнала, отличающиеся высокой помехоустойчивостью, безопасностью измерений, высокой точностью и пр. [4]. Некоторые иностранные фирмы приступили к выпуску оптоволоконных датчиков для индицирования ДВС, однако стоимость этих приборов остается высокой, а их использование требует сложной аппаратуры для обработки сигнала [5]. Наиболее простую конструкцию имеют амплитудные датчики, в которых перемещение диафрагмы модулирует интенсивность отраженной световой волны [3]. Такие датчики многими лабораториями могут быть изготовлены самостоятельно.

Решение проблемы. На основе принципа амплитудной модуляции оптического сигнала в лаборатории ДВС Херсонского факультета ХНАДУ был разработан оптоволоконный датчик для индицирования рабочего процесса. Поскольку от других типов диафрагменных датчиков оптоволоконные отличаются только способом преобразования сигнала, отдельные вопросы, такие как определение собственной частоты датчика, способы передачи и обработки сигнала и др., в данной статье рассматриваться не будут. Эти вопросы достаточно подробно освещены в специальной литературе [1-5].

Принципиальная схема датчика показана на рис. 1а.

Чувствительным элементом является плоская диафрагма 6, заземленная между двух половин корпуса 1. Для снятия и преобразования измерительного сигнала используется оптоволоконная головка, состоящая из корпуса 2 и раздвоенного оптоволоконного жгута 5. На торцах раздвоенной части жгута располагаются светодиод 3 и фотоприемник 4.

Противоположный конец жгута устанавливается на некотором удалении от диафрагмы.

Волокна, по которым подводится свет и отводится отраженный сигнал, по торцевой поверхности жгута распределяются равномерно. На рис. 1б, в показан принцип работы датчика.

При прогибе диафрагмы угол отражения света от ее поверхности изменяется, в результате чего часть света рассеивается, не попадая в фотоприемные волокна. В результате мощность светового потока, воздействующего на светочувствительный элемент, уменьшается пропорционально величине прогиба диафрагмы.

Для стабилизации температурного режима диафрагмы между нижней частью корпуса и стаканом выполнена полость для принудительной циркуляции охлаждающей воды (рис 2.). Диафрагма от нижней охлаждающей поверхности отделена зазором в 0,2 мм. Таким образом, нижняя часть корпуса выполняет роль теплового экрана, отводящего теплоту от незаземленной части диафрагмы и соединительного канала.

Диафрагма изготовлена из нержавеющей стали 18 ХГСА толщиной 0,39 мм. Для оптической головки использовалось полимерное волокно диаметром 0,5 мм. В жгуте размещено по 30 подводящих и отводящих волокон, залитых эпоксидной смолой. Это сделано с целью стабилизации модового сопротивления, которое при изгибе оптоволоконного волокна может изменяться. В качестве фотоприемника использовался фототранзистор ФТ-3. Как источник света пробовались различные излучатели, однако наилучший результат был получен при использовании светодиода TLCR5100 с красным спектром свечения. В корпусе датчика оптическая головка крепится с помощью резьбы М10×0,75 и контргайки, что позволяет изменять оптический зазор между торцом головки и диафрагмой.

На рис. 3 показан характер изменения сопротивления фототранзистора при статической тарировке датчика в диапазоне давлений 0...120 кг/см² для различных величин начального оптического зазора. С уменьшением зазора чувствительность датчика возрастает, что хорошо видно из рис. 4, на котором показано изменение соотношения между конечным и начальным сопротивлением фототранзистора для различных величин оптического зазора. С ростом чувствительности датчика возрастает и гистерезис сигнала (рис 3).

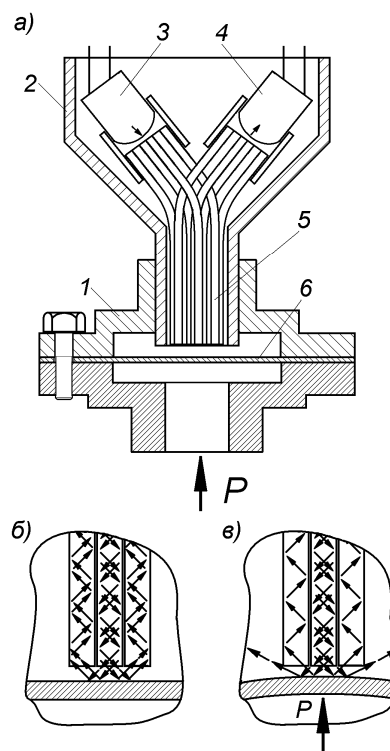


Рис. 1 – Общая схема и принцип работы оптоволоконного датчика давления: а – конструкция датчика; б – распределение светового потока при отсутствии давления; в – распределение светового потока при наличии давления на диафрагму.

Так как характеристика диафрагмы не зависит от зазора, можно предположить, что гистерезисом обладает сам процесс оптического снятия сигнала. Причиной этого может быть интерференция света в оптическом зазоре, на поверхности диафрагмы и на срезе оптоволоконна. При увеличении зазора оптический гистерезис накладывается на гистерезис диафрагмы.

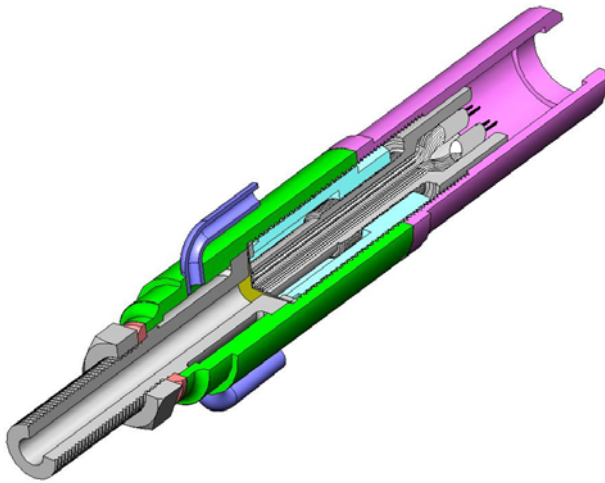


Рис. 2 – Общий вид оптоволоконного датчика для индицирования ДВС.

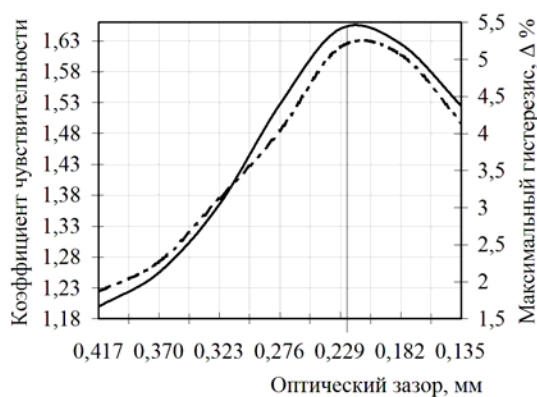


Рис. 4 – Влияние величины зазора на чувствительность датчика и гистерезис выходного сигнала.

При величинах зазора менее 0,229 мм наблюдается касание диафрагмой торца оптоволоконной головки, в результате чего кривая сопротивления загибается и идет более полого (рис. 3), а величина гистерезиса и чувствительность датчика начинают уменьшаться (рис. 4). Очевидно, что оптимальная величина зазора для рассматриваемого случая лежит в диапазоне от 0,4 до 0,25 мм. При этом верхнее значение параметра соответствует минимальной погрешности, а нижнее максимальной чувствительности.

При уменьшении диапазона тарировки давления гистерезис уменьшается, что хорошо видно на рис. 3, где для зазора 0,276 мм показано три случая – диапазоны 80, 100 и 120 кг/см². Таким образом, при уменьшении диапазона точность измерения возрастает.

Большая амплитуда изменения выходного параметра датчика позволяет значительно снизить коэффициент последующего усиления сигнала. Даже при исполь-

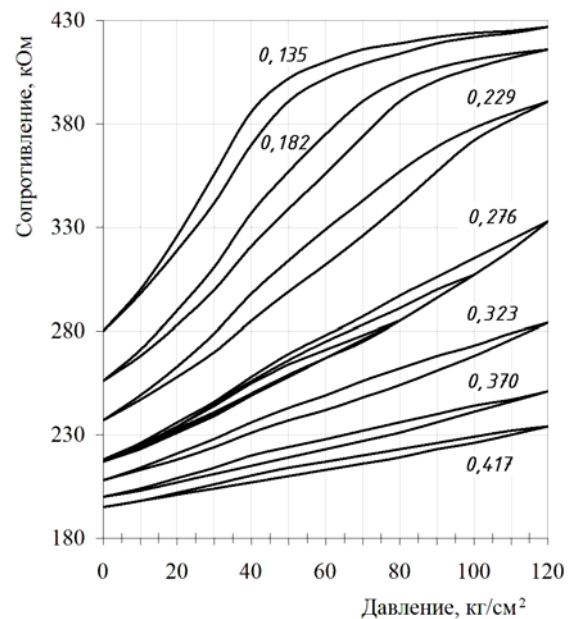


Рис. 3 – Изменение сопротивления фототранзистора при различных величинах зазора между обрезом оптической головки и диафрагмой.

Изменение максимальной разности между прямым и обратным сигналом (Δ) показано на рис. 4. Следует отметить еще одну тенденцию: в диапазоне зазоров 0,417...0,276 мм среднее значение параметра изменяется практически линейно, а также линейно возрастает чувствительность датчика и величина гистерезиса.

зовании обычного делителя напряжения, амплитуда выходного сигнала может достигать нескольких вольт.

На рис. 5 показано изменение напряжения на делителе, после которого сигнал непосредственно, без усиления, поступал на аналогово-цифровой преобразователь и далее заносился в память компьютера.

Величина напряжения, приложенного к делителю, составляла 12 В. При отсутствии давления, с помощью переменного резистора, на средней точке делителя было установлено напряжение 6,1 В. В течение полного цикла фиксировалось 1440 временных точек (2 точки на градус п.к.в.). По дополнительному каналу записывался сигнал с индукционного отметчика ВМТ, показанный на графике в виде прямых линий. Представленный на рис. 5 график получен по результатам обработки 25 последовательных циклов. Максимальная величина сигнала на средней точке делителя составила 2,28 В, что соответствовало давлению 24,6 кг/см².

Большая амплитуда выходного сигнала, отсутствие необходимости значительного усиления, возможность статической тарировки, простота конструкции, отсутствие прямого контакта между диафрагмой и чувствительным элементом и ряд других преимуществ дают основания предполагать, что оптические датчики амплитудного типа могут успешно использоваться в системах для исследования различных процессов, связанных с изменением давления.

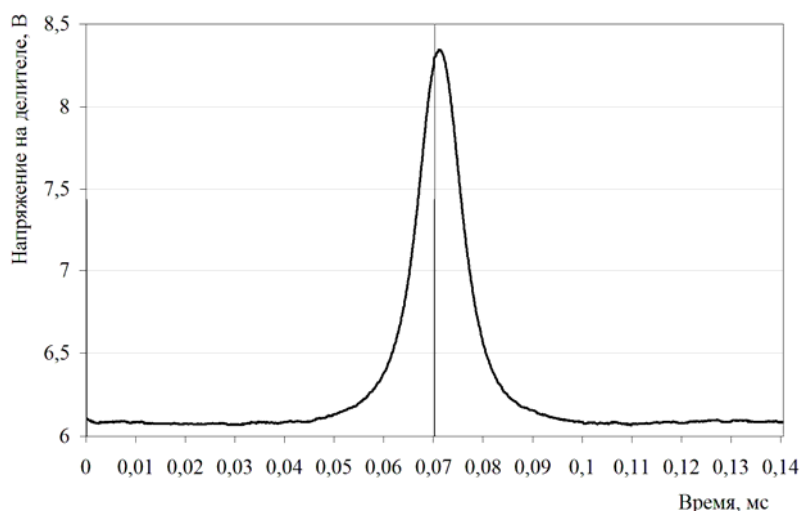


Рис. 5 – Изменение напряжения на делителе при индицировании рабочего процесса (двигатель работает без нагрузки).

В настоящее время на данную конструкцию датчика авторами подана заявка на получение патента.

Выводы:

– оптоволоконные датчики амплитудного типа обладают достаточной чувствительностью, быстродействием и стабильностью, что позволяет использовать их для исследования различных процессов связанных с изменением давления, в том числе и для индицирования ДВС;

– чувствительность амплитудного датчика зависит от величины оптического зазора и возрастает с его уменьшением, однако при этом возрастает и гистерезис процесса измерения;

– амплитуда сигнала, снимаемого с оптического датчика, может достигать нескольких вольт, в результате этого отпадает необходимость в значительном усилении сигнала и повышается точность его обработки.

Литература:

1. Розенблит Г.Б., Виленский П.И., Горелик Я.И. Датчики с проволочными преобразователями для исследования двигателей внутреннего сгорания. 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. [www.bluer.com/papers/Overview of FOS2.pdf](http://www.bluer.com/papers/Overview_of_FOS2.pdf)
4. Соколов А. Н., Яцеев В. А. Волоконно-оптические датчики и системы: принципы построения, возможности и перспективы. – LIGHTWAVE Russian Edition №4 2006. – С. 42-44.
5. www.optrand.com

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО РАЗМЕРАМ КАПЕЛЬ РАСПЫЛИВАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

Антонюк П. Н. (МГТУ им. Н. Э. Баумана)

Аннотация. Представлен теоретический вывод распределения по размерам осколков, полученных в результате распада сплошной среды. Такое же распределение появляется в процессе распыливания жидкости на капли.

1. Статистическое описание осколков сплошной среды. Рассмотрим задачу о быстром распаде однородной и изотропной трехмерной сплошной среды на большое число осколков. Так как распад происходит практически мгновенно, то можно говорить о взрыве сплошной среды.

Примером такого распада является процесс распыливания жидкости форсункой. На выходе из форсунки образуются осколки жидкости, которые под действием сил поверхностного натяжения очень быстро превращаются в капли. Распределение капель по размерам хорошо описывается эмпирической формулой Розина-Раммлера

$$F(R) = 1 - \exp\left[-(R/\alpha)^\beta\right],$$

где $F(R)$ – функция распределения, то есть вероятность того, что капля имеет радиус, меньший R (эта вероятность пропорциональна числу молекул, образующих такие капли); α , β – положительные параметры распределения; $f(R) = F'(R)$ – плотность распределения.

Другим примером такого распада является взрыв твердого тела. Распределение полученных осколков по массам (или по размерам) принято описывать эмпирической формулой Вейбулла

$$\tilde{F}(m) = 1 - \exp\left[-(m/\mu)^\gamma\right],$$

где $\tilde{F}(m)$ – функция распределения, то есть вероятность того, что осколок имеет массу меньшую m ; μ , γ – положительные параметры распределения;

$\tilde{f}(m) = \tilde{F}'(m)$ – плотность распределения. Если $m = \frac{4}{3}\pi\rho R^3$, $\mu = \frac{4}{3}\pi\rho\alpha^3$, $\beta = 3\gamma$, то $F(R) = \tilde{F}(m)$. Здесь ρ – массовая плотность.

Указанные эмпирические формулы предложили в 1933 году Пауль Отто Розин (1890-1967) и Эрих Раммлер (1901-1986), а в 1939 году – Эрнст Яльмар Валлодди Вейбулл (1887-1979).

Математическая эквивалентность формул Розина-Раммлера и Вейбулла указывает на универсальный характер процесса быстрого распада сплошной среды: