

топлива на борту автомобиля в целях повышения топливной эффективности и улучшения экологических характеристик автомобилей [Текст] / O.F. Brizickij, V.Ja. Terent'ev, A.P. Hristoljubov [i dr.] // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2004. – №11(19) – С. 17–23. 3. Steam reforming of hydrocarbon fuels [Text] / Q. Ming, et al. // *Catalysis Today*. – 2002. – P. 51–64. 4. Hripach, N.A. Термодинамический анализ рабочего цикла двигателя с термодинамическим генерированием водородного топлива [Текст] / N.A. Hripach, V.F. Kamenev, V.M. Fomin [i dr.] // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2006. – №4(36) – С. 45–50. 5. Kamenev V.F. Теоретические и экспериментальные исследования работы двигателя на дизельно-водородных топливных композициях / V.F. Kamenev, V.M. Fomin, N.A. Hripach // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2005. –

№7(27) – С. 32 – 42. 6. Marchenko A. P. *Анализ и математическое моделирование процесса сгорания водорода в четырехтактном одноцилиндровом двигателе с искровым воспламенением* / A. P. Marchenko, A. A. Osetrov, I. Dubej, R. Maamri // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2010. – № 1. – С. 24–28. 7. Verhelst S. *A study of the combustion in hydrogen-fuelled internal combustion engines* / S. Verhelst / Department of Flow, Heat and Combustion Mechanics, Ghent University. – Belgium : Ghent University, 2005. – 222 r. 8. Timoshevs'kij B. G. *Экспериментальные исследования параметров поршневого ДВС из системы термодинамической конверсии биотанолу* [Текст] / B. G. Timoshevs'kij, M. R. Tkach, O. S. Mitrofanov, A. S. Poznans'kij, A. Ju. Proskurin // *Двигатели внутреннего сгорания* – 2011. – № 2. – С. 3–8.

Поступила в редакцию 31.05.2014

**Тимошевский Борис Георгиевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: btym@mksat.net.

**Ткач Михаил Романович** – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой теоретической механики Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: Mykhaylo.Tkach@nuos.edu.ua.

**Проскурин Аркадий Юрьевич** – преподаватель кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: arkadii.proskurin@nuos.edu.ua.

**Митрофанов Александр Сергеевич** – преподаватель кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: dvs84@inbox.ru.

**Познанский Андрей Станиславович** – преподаватель кафедры теоретической механики Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: andreypoznansky@gmail.com.

#### ЕФЕКТИВНІСТЬ ДВИГУНА 2 Ч 7,2 / 6 ПРИ РОБОТІ НА БЕНЗИНІ З ДОБАВКАМИ СИНТЕЗ-ГАЗУ

*Б.Г. Тимошевський, М.Р. Ткач, А.Ю. Проскурін, О.С. Митрофанов, А.С. Познанський*

Представлені результати експериментальних досліджень роботи двигуна 2Ч 7,2 / 6 з іскровим запалюванням і зовнішньому сумішоутворенні при роботі на бензині з добавками синтез-газу. Отримано індикаторні діаграми при роботі по навантажувальній характеристиці, залежності годинної витрати бензину від потужності двигуна та питомої ефективної витрати бензину від потужності двигуна при добавках синтез-газу - 28%, 38% і 64%. Встановлено, що часова витрата бензину може бути зменшена на 0,48-1,3 кг/год при потужності двигуна 1 і 3,3 кВт, та величині добавки синтез-газу 28-64%. Питома ефективна витрата бензину може бути зменшена на 0,09-0,92 г/кВт·год.

#### PERFORMANCE OF TWO STROKE AND FOUR CYLINDER ENGINE WITH DIMENSION 7,2/6 AT WORK ON PETROL WITH ADDITIVES OF SYNTHESIS GAS

*B.G. Timoshevsky, M.R. Tkach, A.Y. Proskurin, A.S. Mitrofanov, A.S. Poznansky*

The results of experimental studies of the performance of 2 cylinder 4-stroke engine 7,2/6 with spark ignition and external mixture formation at work on petrol with synthesis gas additives are presented. Obtained at work in the load characteristic mode are indicator diagrams of dependence of petrol hourly consumption from the engine capacity and of petrol specific actual consumption from the engine capacity with addition of 28%, 38% and 64% synthesis gas. It is established, that the hourly consumption of petrol can be reduced by 0,48-1,3 kg/h with the engine capacity of 1 and 3.3 kW and synthesis gas additive amount of 28-64%. Petrol specific actual consumption can be reduced by 0,09-0,92 g/kW·h.

УДК 621.43

*Д.В. Мешков, А.В. Савченко*

#### МЕТОД РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ИНДИЦИРОВАНИИ ДВС

*Выполнен анализ методов расчета термодинамической погрешности, возникающей при индицировании ДВС пьезокерамическим датчиком давления. Предложены альтернативные методы расчета погрешности. Показано, что метод с усреднением погрешности по нескольким рабочим циклам дает возможность снизить разброс положения индикаторных диаграмм ориентировочно на 30%.*

##### Введение

Регистрация давления в цилиндре дизеля является основным инструментом изучения протекающего рабочего процесса. От точности регистрации

давления в зависимости от угла поворота коленчатого вала, зависит адекватность расчета кривых тепловыделения, эффективных и индикаторные показатели и др.

В последнее время, в связи с активным внедрением топливной аппаратуры дизелей с электронным управлением и наличием многофазного впрыскивания, требования к системам индицирования значительно возросли. В первую очередь это касается чувствительности, так как необходимо отслеживать влияние каждой порции подаваемого топлива в цилиндр. По этой же причине, необходимо скорректировать программное обеспечение связанных с процессами фильтрации, сглаживания и учета погрешностей регистрируемого сигнала.

Системы индицирования ДВС прошли путь от достаточно примитивных механических систем до современных механико-электронных комплексов с высокой достоверностью получаемых результатов [1, 2]. Анализ литературных источников показывает, что практически все современные исследовательские комплексы ДВС используют для индицирования датчики давления с пьезоэлектрическим преобразователем в качестве чувствительного элемента [3, 4]. Наряду с неоспоримыми достоинствами, как высокая скорость срабатывания и чувствительность, компактность, стабильность, высокая собственная частота, такие датчики имеют весьма существенные недостатки. В первую очередь это невозможность регистрации постоянного давления (отсутствие «нулевой линии») и высокие погрешности при перегреве чувствительного элемента. В ранних моделях, для предотвращения перегрева использовалось специально организованное циркуляционное охлаждение датчика. В настоящее время, путем модернизации пьезоэлектрической керамики, введением в ее состав новых элементов, удалось изготовить неохлаждаемые датчики для индицирования высокофорсированных ДВС [5].

Невозможность регистрации постоянного давления пьезокерамическим датчиком приводит к тому, что сигнал каждого из них должен быть скорректирован на величину термодинамической погрешности, которая определяется для каждого датчика отдельно. Следует иметь в виду что, погрешности при индицировании изменяются с течением времени, что необходимо учитывать.

Следовательно, совершенствование методов расчета термодинамической погрешности при индицировании ДВС пьезокерамическими датчиками является актуальной задачей

#### Основная часть

Ошибка при регистрации давления в цилиндре рассчитывается исходя из уравнения политропы, минимум для 2-х измеренных значениях давления при различных углах поворота коленчатого вала  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  [6]:

$$P_i \cdot V_i^n = \text{const}; \quad (1)$$

$$P_1 = P_{1\text{mess}} - \Delta P, \quad P_2 = P_{2\text{mess}} - \Delta P; \quad (2)$$

$$(P_{1\text{mess}} - \Delta P) \cdot V_1^n = (P_{2\text{mess}} - \Delta P) \cdot V_2^n; \quad (3)$$

$$\Delta P = \frac{P_{2\text{mess}} - P_{1\text{mess}} \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n}{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n}. \quad (4)$$

где  $P_{1,2}$  – истинные значение давления при углах п.к.в. соответствующих  $\varphi_1, \varphi_2$ ;  $P_{1\text{mess}}, P_{2\text{mess}}$  – измеренное давление;  $\Delta P$  – термодинамическая погрешность;  $V_{1,2}$  – объем цилиндра при углах п.к.в. соответствующих  $\varphi_1, \varphi_2$ ;  $\varphi$  – угол поворота коленчатого вала.

Метод расчета можно также применять для  $N$  измеренных значений, для чего выбираем значения  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  из диапазона  $\varphi_{1,2} \pm \Delta\varphi$ . Значение погрешности определяется усреднением среди  $N$  принятых значений.

Формула для базового расчета значения погрешности для заданного числа точек расчета  $N$ :

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{P_{(i+N)\text{mess}} - P_{(i)\text{mess}} \cdot \left(\frac{V_i}{V_{i+N}}\right)^n}{1 - \left(\frac{V_i}{V_{i+N}}\right)^n}; \quad (5)$$

где  $N$  – число принятых для расчета точек;  $\Delta P_{\Sigma}$  – усредненное значение погрешности по  $N$ .

Данный метод расчета применим при следующих допущениях: 1. Объем камеры сгорания описывается как закрытая система (впускные клапаны закрыты, нет утечек воздуха, не происходит впрыскивание топлива); 2. Показатель политропы сжатия  $n$  во время процесса сжатия принимается постоянным и составляет 1,37. Данное приближение действует в области от 60 град. п.к.в. до 110 град. п.к.в. после нижней мертвой точки и  $n=\chi$  для процесса адиабатического сжатия (теплопередача пренебрежительно мала).

Для проведения исследования использованы данные полученные на автоматизированном исследовательском стенде для легкового дизеля. Расчет и обработка данных выполнены с использованием программ разработанных на кафедре ДВС НТУ «ХПИ» с использованием средств компьютерной математики MatLab.

В результате расчета по рассмотренному выше алгоритму и расчету термодинамической погрешности на каждом цикле, был получен массив данных давлений, представленный на рисунке 1. Из представленного рисунка видно, что индикаторные диаграммы, несмотря на постоянную частоту вращения коленчатого вала и нагрузку, с учетом по-

грешности имеют значительно больший разброс по давлению по сравнению с диаграммами без учета погрешности (величина  $\Delta$  на рис. 1).

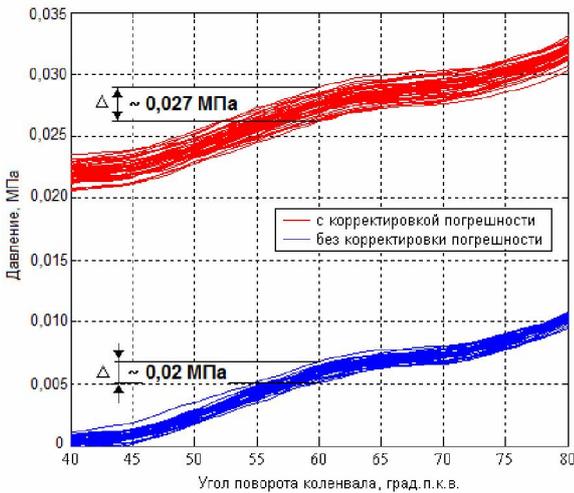


Рис. 1. Индикаторные диаграммы первого цилиндра с учетом и без учета компенсации погрешности при индцировании ДВС

Для уменьшения данного негативного эффекта рассмотрим альтернативные методы расчета термодинамической погрешности направленных на снижение разброса значений индикаторных диаграмм различных циклов двигателя, работающего при постоянной частоте вращения коленчатого вала и нагрузке. Предложенными методами являются: 1. Метод двухступенчатого расчета; 2. Метод подсчета со стартовым значением; 3. Метод усреднения погрешностей по нескольким рабочим циклам. Алгоритмы расчетов предложенных методов совместно с исходным, представлены на рисунке 2.

Двухступенчатый метод расчета погрешности использует метод одноступенчатого подсчета погрешности два раза. Предполагается получение более точного значения погрешности для каждого конкретного рабочего цикла. Исходными данными для расчета погрешности по методу 1 является массив значений давлений полученных при индцировании двигателя и значение погрешности, полученные при использовании базового метода (5).

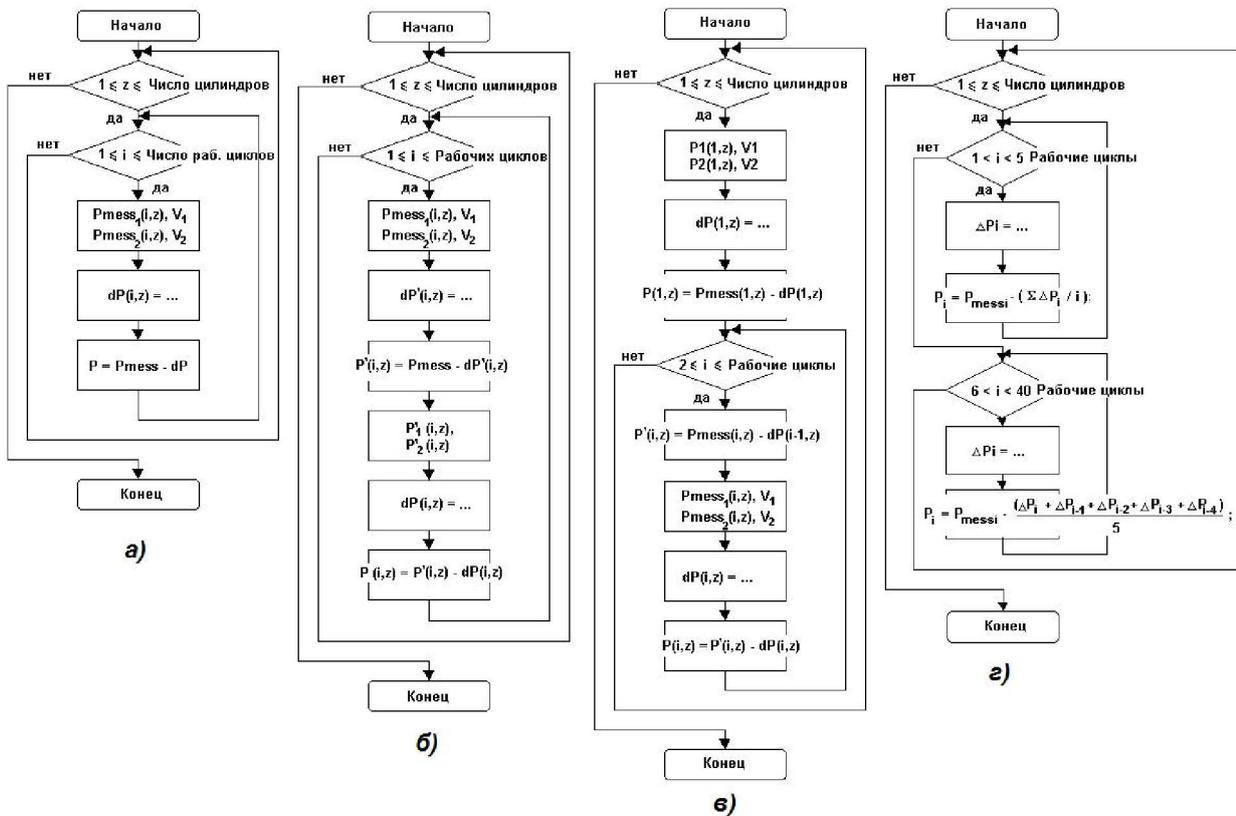


Рис. 2. Алгоритмы расчета термодинамической погрешности при индцировании ДВС  
 а – базовый метод, одноступенчатый расчет; б – метод двухступенчатого расчета; в – метод подсчета со стартовым значением; г – метод усреднения погрешностей по нескольким рабочим циклам

Как видно из представленного алгоритма на рисунке 2,б, первая часть расчета полностью иден-

тична стандартному методу расчета погрешности. Вторая часть также повторяет этот алгоритм, но

для расчета, в качестве исходных данных, использует значения с уже учтенной погрешностью.

Выполненный расчет показывает, что метод двухступенчатого расчета погрешности не имеет смысла, т.к. значение погрешности, получаемое после использования второй ступени, практически равно 0.

Вторым предложенным альтернативным методом является метод расчета погрешности со стартовым значением. Стартовым значением для расчета погрешности каждого рабочего цикла, является значение погрешности предыдущего рабочего цикла. Вначале вычисляется значение погрешности  $\Delta P_1$  первого рабочего цикла для каждого цилиндра по методу 1. Характер изменения давлений последующего рабочего цикла принимается сначала как:

$$P_i = P_{i\text{mess}} - dP_{i-1} - dP_i. \quad (6)$$

Затем используется расчет по базовому методу для диаграммы откорректированным стартовым значением. Для рабочего цикла  $i$  ( $i \geq 2$ ):

$$P_i = P_{i\text{mess}} - dP_{i-1} - dP_i. \quad (7)$$

Выполненное расчетное исследование показало, что метод 2 не ведет к какому либо улучшению определения погрешности по сравнению со стандартным методом. Полученные результаты погрешностей полностью идентичны данным полученным в результате расчета по базовому методу.

Следующим является метод 3 – усреднение погрешности по нескольким рабочим циклам. Для того чтобы снизить разброс значений погрешностей от цикла к циклу, можно использовать среднее значение погрешности по нескольким предшествующим рабочим циклам  $k$ . В данном исследова-

нии, для режимов постоянных  $n$  и нагрузки на двигатель, принимаем  $k = 5$ .

Таким образом, текущее значение давления на каждом цикле вычисляется по формуле:

$$P_i = P_{\text{mess}} - \frac{(\Delta P_i + \Delta P_{i-1} + \Delta P_{i-2} + \Delta P_{i-3} + \Delta P_{i-4})}{k}.$$

На рисунке 3 показано, что рассчитанные значения погрешностей по методу 4 (-o-) расположены более близко к друг другу, чем значения погрешностей по методу 1 (+).

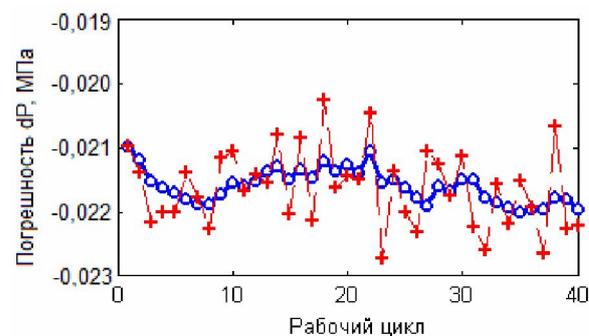


Рис. 3. Рассчитанные значения погрешностей  $\Delta P$  для 40 последовательных циклов по базовому методу (+) и по методу 3 (-o-)

В результате расчета погрешности для 40 последовательных циклов установлено, что разброс значений от цикла к циклу снизился, цикловые индикаторные диаграммы расположены более кучно. Параметр, характеризующий разброс индикаторных диаграмм  $\Delta$ , на рисунке 4 показывает, что при использовании метода 3 возможно добиться его снижения ориентировочно на 30%. Что положительно скажется на построении осредненной индикаторной диаграммы и правильности расчетов параметров работы двигателя.

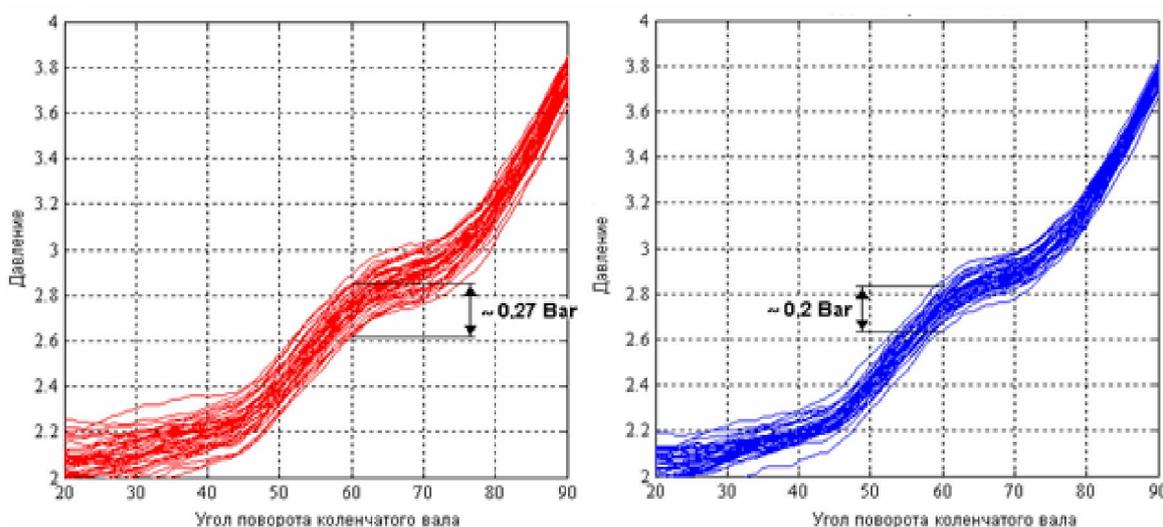


Рис. 4. Индикаторные диаграммы с учетом термодинамической погрешности, рассчитанной по базовому методу (слева) и методу усреднения погрешностей по нескольким рабочим циклам

Из полученных результатов можно сделать вывод, что использование метода усреднения погрешностей по нескольким рабочим циклам, является более предпочтительным при исследовании ДВС по сравнению с базовым методом одноступенчатого расчета. При этом важно отметить, что подобный метод, применим только при постоянной частоте вращения коленчатого вала и нагрузке.

#### **Заключение**

Метод компенсации термодинамической погрешности, возникающей при индицировании давления в цилиндре ДВС, основанный путем усреднения погрешности за несколько рабочих циклов является более совершенным, что приводит к снижению разброса положений индикаторных диаграмм ориентировочно на 30%.

#### **Список литературы:**

1. R. van Basshuysen, F. Schäfer. *Handbuch Verbrennungsmotor: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven*, Vieweg+Teubner Verlag; Auflage: 6., Aufl. 2012, 1181 с. 2. Pischinger R., Klell M., Sams T., „*Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine*“. Zweite, überarbeitete Auflage, Springer-Verlag/Wien, 2002, 475 с. 3. R. Pischinger, In-

*dezieren am Verbrennungsmotor; Anwenderhandbuch - Vorstand des Institutes für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der Technischen Universität Graz, Graz, Jänner 2002. – S. 136. 4. G. P. Merker, C. Schwarz, Grundlagen Verbrennungsmotoren: Funktionsweise, Simulation, Messtechnik : Vieweg +Teubner Verlag; Auflage: 6., erg. Aufl. 2012, 795 с. 5. Марченко А.П. Универсальный автоматизированный стенд для испытаний ДВС / А.П. Марченко, А.А. Прохоренко, Д.Е. Самойленко, Д.В. Мешков // Вестник Национального технического университета «ХПИ», 2006. – 140 с.*

#### **Bibliography (transliterated):**

1. R. van Basshuysen, F. Schäfer. *Handbuch Verbrennungsmotor: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven*, Vieweg+Teubner Verlag; Auflage: 6., Aufl. 2012, 1181 s. 2. Pischinger R., Klell M., Sams T., „*Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine*“. Zweite, überarbeitete Auflage, Springer-Verlag/Wien, 2002, 475 s. 3. R. Pischinger, Indizieren am Verbrennungsmotor; Anwenderhandbuch - Vorstand des Institutes für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der Technischen Universität Graz, Graz, Jänner 2002. – S. 136. 4. G. P. Merker, C. Schwarz, Grundlagen Verbrennungsmotoren: Funktionsweise, Simulation, Messtechnik : Vieweg +Teubner Verlag; Auflage: 6., erg. Aufl. 2012, 795 s. 5. Marchenko A.P., Proxorenko A.A., Samojlenko D.E., Meshkov D.V. *Universalnyj avtomatizirovannyj stend dlya ispytanyj DVS, Vestnik NTU «KhPI», 2006, 140 s.*

Поступила в редакцию 18.06.2014

**Мешков Денис Викторович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: denys.meshkov@mail.ru

**Савченко Анатолий Викторович** – студент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: never\_surrender\_89@mail.ru

#### **МЕТОД РОЗРАХУНКУ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ПОХИБКИ ПРИ ІНДИЦІЮВАННІ ДВЗ**

*Д.В. Мешков, А.В. Савченко*

Виконано аналіз методів розрахунків термодинамічної похибки, що виникає при індиціюванні ДВЗ п'єзокерамічним датчиком тиску. Запропоновані альтернативні методи розрахунків погрешності. Показане, що метод з усередненням похибки по декільком робочим циклам дає можливість знизити розкид положення індикаторних діаграм орієнтовно на 30%.

#### **METHOD FOR CALCULATING THE THERMODYNAMIC ERROR WHILE INDEXING ENGINE**

*D.V. Meshkov, A.V. Savchenko*

The analysis methods for calculating the thermodynamic error that occurs when indexing engine piezoceramic pressure sensor. Alternative methods of calculation error. Is shown that the method of averaging error over several working cycles makes it possible to reduce the spread of the position of the indicator diagrams by approximately 30%.