

A. V. Formirovanie vneshnej skorostnoj karakteristiki dizel'nogo dvigatelja s sistemoj upravljajemogo posledovatel'no-parallelnogo gazoturbinного nadduva [Tekst] / A. V. Nagornyj // Zbirnik naukovih prac' Donec'kogo institutu zalizničnogo transportu Ukraїns'koї derzhavnoї akademії zalizničnogo – Doneck, 2012. – №32– S. 143 – 147. 7. Performance Data for the Back Cove 30 [Elektronnyj resurs] – rezhim dostupa: <http://www.backcoveyachts.com/backcove30/performance.php>. 8. Rakopoulos, C. D. Diesel Engine Transient Operation. Principles of Operation and Simulation Analysis [Text] / C. D. Rakopoulos, E. G. Giakoumis. – London. Springer-Verlag London Limited. 2009 – 408 p. 9. Sauerstein, R. Die geregelte zweistufige Abgasturboaufladung am Ottomotor/ R. Sauerstein, R. Dabrowski, M. Becker, W. Bullmer.

– BorgWarner Turbo Systems, 2010/ – 32 p. 10. Volvo Penta. Product bulletin D6-370/DP [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: [http://vppneuapps.volvo.com/ww/PIE/ViewFileFrame.aspx?n=207456&r=2010-06-11-11-1645&t=PDF1P&a=47701168&p=T416&d=Product%20Bulletins&s=369638&model=D6-330&trans\\_ClassId=10&segmentId=13&lang=en-GB](http://vppneuapps.volvo.com/ww/PIE/ViewFileFrame.aspx?n=207456&r=2010-06-11-11-1645&t=PDF1P&a=47701168&p=T416&d=Product%20Bulletins&s=369638&model=D6-330&trans_ClassId=10&segmentId=13&lang=en-GB). 11. Westin, F. Simulation of turbocharged SI-engines – with focus on the turbine: doctoral thesis [Text] / F. Westin. – KTH School of Industrial Engineering and Management Stockholm, 2005. – 287 p. 12. Woodyard, D. Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines. Eighth edition [Text] / D. Woodyard. – Elsevier Ltd, 2004. – 914 p.

Поступила в редакцию 04.06.2014

**Минчев Дмитрий Степанович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: misaidima@gmail.com.

**Мошенцев Юрий Леонидович** – канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: urymosh@mail.ru

**Нагорный Антон Викторович** – аспирант кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: Nagorniy.A.W@yandex.ru.

### УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ГАЗОТУРБІННОГО НАДДУВУ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ШВИДКІСНИХ ГЛІСУЮЧИХ СУДЕН

*Д. С. Мінчев, Ю. Л. Мошенцев, А. В. Нагірний*

Запропонована система керованого двоступінчастого газотурбінного наддуву з першим реєстровим ступенем стиснення повітря для дизельних двигунів швидкісних глісуючих суден. Перший ступінь стиснення повітря складається з двох турбокомпресорів, які працюють паралельно, послідовно якому з'єднаний турбокомпресор другого ступеня з малим значенням моменту інерції ротору. Шляхом математичного моделювання статичних та динамічних зовнішніх швидкісних характеристик двигуна Volvo Penta D6 (6ЧН 10,3/11) показано, що застосування запропонованої системи наддуву дозволяє збільшити коефіцієнти запасу двигуна за крутильним моментом та обертами, підвищити значення коефіцієнта надлишку повітря в період прискорення двигуна та зменшити загальний час прискорення судна.

### IMPROVEMENT IN THE MAIN DIESEL ENGINES SUPERCHARGING SYSTEM FOR THE HIGH-SPEED HYDROPLANE VESSEL

*D. S. Minchev, U. L. Moshentsev, A. V. Nagirnyi*

The variable two-stage turbocharging system with the register first stage for main diesel engines of the high-speed hydrofoil vessel is suggested. The suggested system includes two low-pressure turbochargers with register connection as the first compression stage connected in series with the high-pressure low-inertia turbocharger as the second compression stage. Simulation of static and transient full-load performance characteristics of the Volvo Penta D6 diesel engine proved that suggested system helps to improve engine's low-speed torque, to increase the transient air excess ratio and to reduce vessel's total acceleration period.

УДК 621.438

**Б.Г. Тимошевский, М.Р. Ткач, А.Ю. Проскурин, А.С. Митрофанов, А.С. Познанский**

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ 2Ч 7,2/6 ПРИ РАБОТЕ НА БЕНЗИНЕ С ДОБАВКАМИ СИНТЕЗ-ГАЗА

Представлены результаты экспериментальных исследований работы двигателя 2Ч 7,2/6 с искровым зажиганием и внешним смесеобразованием при работе на бензине с добавками синтез-газа. Получены индикаторные диаграммы при работе по нагрузочной характеристике, зависимости часового расхода бензина от мощности двигателя и удельного эффективного расхода бензина от мощности двигателя при добавках синтез-газа – 28%, 38% и 64%. Установлено, что часовой расход бензина может быть уменьшен на 0,48–1,3 кг/ч при мощности двигателя 1 и 3,3 кВт, и величине добавки синтез-газа 28–64%. Удельный эффективный расход бензина может быть уменьшен на 0,09–0,92 г/кВт·ч.

#### Постановка проблемы

В современных поршне вых ДВС топлива нефтяного происхождения являются основными

источниками энергии. По оценкам специалистов, запасы нефтяных топлив существенно исчерпаны, что ведет к неизбежному росту цен и созданию

кризисных ситуаций. Поэтому одной из важных проблем в современном двигателестроении является разработка технологий эффективного использования альтернативных видов топлив.

#### **Анализ исследований и публикаций**

Среди существующих альтернативных топлив для энергетических установок с ДВС одним из перспективным является синтез-газ [1,2]. Под синтез-газом понимается искусственная смесь горючих газов, основными компонентами которой являются водород ( $H_2$ ) и монооксид углерода (СО). Синтез-газ может быть получен из разного вида сырья разными способами, например, путем газификации угля, паровой конверсии различных углеводородов. В зависимости от вида сырья и способа получения синтез-газа [3], в его состав входят в различном процентом соотношении  $H_2$ , СО и  $CO_2$ ,  $CH_4$  и др. К преимуществам использования синтез-газа относятся: широкая сырьевая база, улучшенные экологические показатели, а также возможность повысить КПД энергетической установки за счет утилизации вторичных энергоресурсов [4]. Существенный недостаток – пониженная, по сравнению с традиционными топливами, удельная массовая теплота сгорания (25–30 МДж/кг), что приводит к снижению мощности двигателя. Одним из возможных решений проблемы, связанной с потерей мощности при работе ДВС на синтез-газе, является использование синтез-газа в качестве добавки к основному топливу.

При работе двигателя на бензине с добавками синтез-газа необходимо учитывать влияние ряда параметров, таких как коэффициент избытка воздуха, угол опережения зажигания, степень сжатия, коэффициент наполнения цилиндра, фазы газораспределения, способ смесеобразования (внешнее, внутреннее) [5-7].

В результате изучения отечественной и зарубежной литературы не удалось выявить достоверных экспериментальных и теоретических данных об особенностях организации рабочего цикла двигателя 2Ч 7,2/6, работающего на бензине с добавками синтез-газа.

**Цель работы** – исследовать особенности работы поршневого ДВС с искровым зажиганием с добавками синтез-газа, а также определить диапазон эффективной работы двигателя с различными добавками синтез-газа.

#### **Изложение основного материала**

Процесс смесеобразования и сгорания бензина с добавками синтез-газа в цилиндре двигателя 2Ч 7,2/6 требует дальнейшего теоретического и экспериментального исследования для определения рациональных параметров рабочего цикла, которые обеспечили наиболее выгодное сочетание расхода

топлива, мощности двигателя, эффективных и экологических показателей ДВС.

С целью детального изучения процесса смесеобразования и сгорания бензина с добавками синтез-газа и проведения экспериментальных исследований особенностей работы ДВС с искровым зажиганием был модернизирован стенд на базе двигателя 2Ч 7,2/6 (УД-25) с внешним смесеобразованием, работающий на трехфазный генератор переменного тока, нагруженный омическим сопротивлением. При модернизации стенда доработана система подачи топлива. Добавлен блок взвешивания бензина, рабочий элемент которого представлен на рис. 1.

Используемый для работы двигателя синтез-газ был получен на установке ТХР–2.0 [8] путем термохимической паровой конверсии биоэтанола. Основные параметры двигателя приведены в таблице. Фотографии экспериментальной установки и стенда для получения синтез-газа представлены на рис. 2, 3.

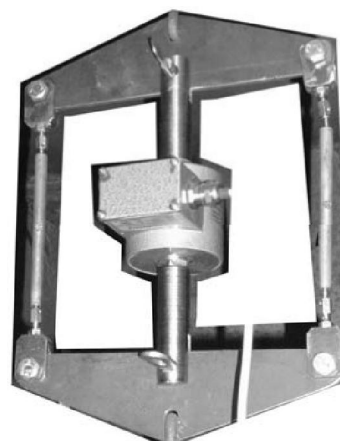


Рис. 1. Датчик силы с системой обезвешивания

Таблица. Основные параметры двигателя с искровым зажиганием 2Ч 7,2/6

№ п.п.	Параметр	Единица измерения	Значение
1	Количество цилиндров	шт.	2
2	Рабочий объем цилиндров	см <sup>3</sup>	490
3	Диаметр цилиндра	мм	72
4	Ход поршня	мм	60
5	Степень сжатия	–	6
6	Частота вращения коленчатого вала	об/мин	3000
7	Эффективная мощность	кВт	5,88
8	Удельный эффективный расход топлива	кг/(кВт·час)	0,435

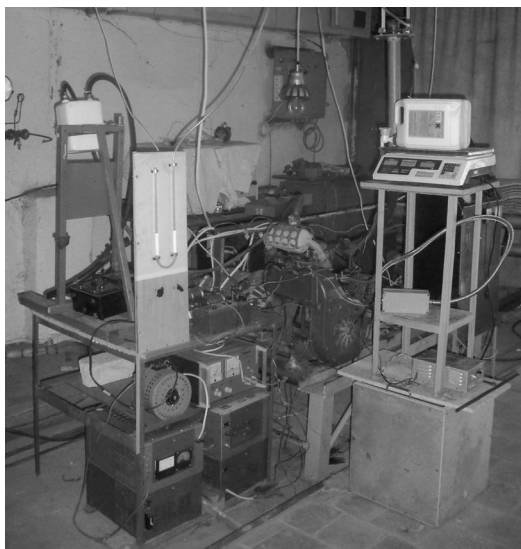


Рис. 2. Экспериментальная установка на базе двигателя с искровым зажиганием 2Ч 7,2/6

Основные параметры работы двигателя при трех различных добавках синтез-газа к бензину (масс.): 28%, 38%, 64%. Состав синтез-газа определялся химическим анализом с помощью хроматографа NeoCHROM Class V, который проходил предварительную тарировку с помощью образцовых смесей по ТУ-6-16-2956-87. По данным хроматографического анализа в составе синтез-газа, полученного при 100 % конверсии этанола присутствуют три основных компонента (об.): водород  $H_2$  (43 %), окись углерода  $CO$  (34 %) и метан  $CH_4$  (23 %).

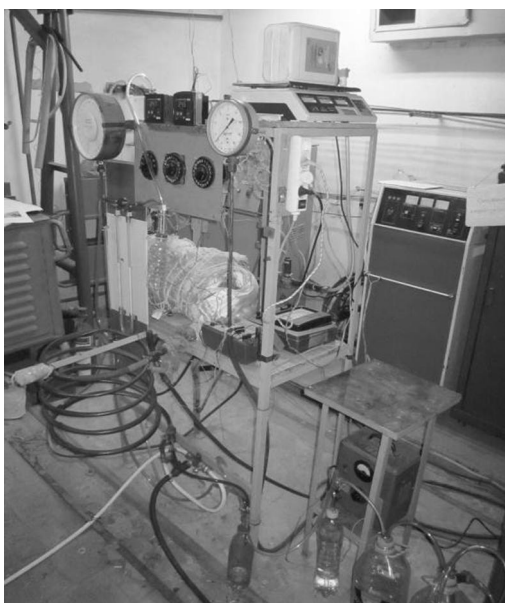


Рис. 3. Экспериментальная установка для получения синтез-газа ТХР-2.0

Расчетная удельная теплота сгорания синтез-газа составила 28,79 МДж/кг. Плотность синтез-газа (при н.у.) составляла 0,63 кг/м<sup>3</sup>.

Результаты экспериментальных исследований при работе двигателя на бензине с добавками синтез-газа представлены в виде фрагмента последовательных индикаторных диаграмм на рис. 4. Данные диаграмм достаточно четко подтверждают стабильность работы двигателя на режиме.

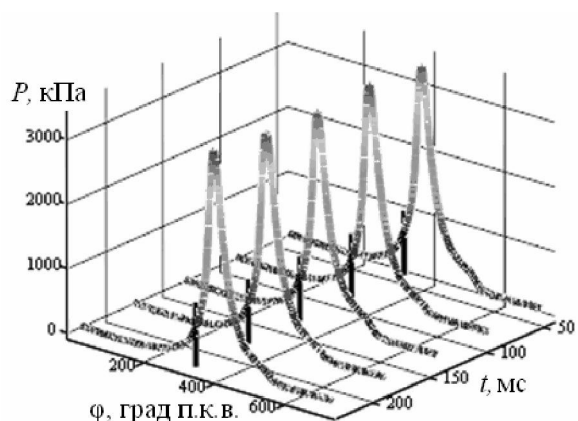


Рис. 4. Фрагмент ряда последовательных индикаторных диаграмм при работе на бензине с добавками синтез-газа

Влияние величины добавки синтез-газа на максимальную мощность двигателя приведено на рис. 5. Под максимальной мощностью подразумевается предельное значение мощности, которую удалось достичь при устойчивой работе двигателя (без детонации и т.д.). Максимум – 5,6 кВт был достигнут при работе двигателя на бензине без добавок синтез-газа, минимальное значение – 2,7 кВт при работе только на синтез-газе.

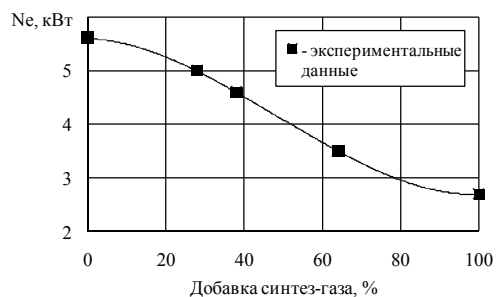


Рис. 5. Влияние величины добавки синтез-газа на мощность двигателя

При испытаниях двигателя 2Ч 7,2/6 на бензине с добавками синтез-газа получены зависимости часового расхода бензина от мощности двигателя при различных добавках синтез-газа (рис. 6), удельного эффективного расхода бензина от мощности двигателя при различных добавках синтез-

газа (рис. 7). При величине добавки синтез-газа 28–64% наблюдается снижение часового расхода бензина на 0,48–1,14 кг/ч и 0,5–1,3 кг/ч при мощности двигателя 1 и 3,3 кВт, соответственно. Снижение удельного эффективного расхода бензина на 0,37–0,92 г/кВт·ч и 0,09–0,24 г/кВт·ч достигнуто при тех же условиях.

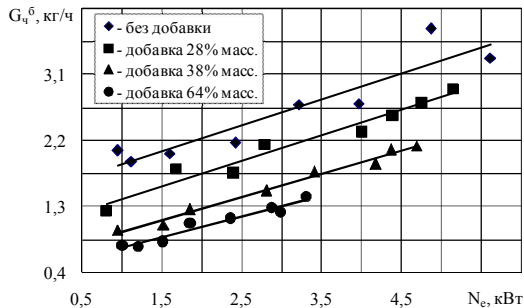


Рис. 6. Зависимость часового расхода бензина от мощности двигателя при различных добавках синтез-газа

Индикаторная диаграмма при работе по нагрузочной характеристике, при режиме мощности двигателя 3 кВт и частоте вращения коленчатого вала 3000 об/мин, представлена на рис. 8. При величине добавки синтез-газа 28–64% наблюдается незначительное увеличение максимального давления сгорания.

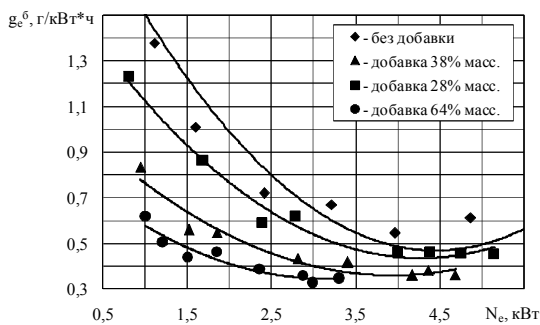


Рис. 7. Зависимость удельного эффективного расхода бензина от мощности двигателя при различных добавках синтез-газа

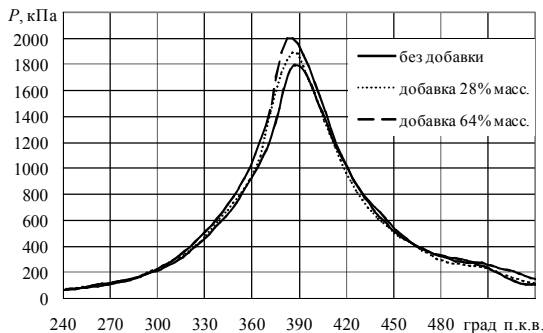


Рис. 8. Индикаторная диаграмма двигателя 2Ч 7,2/6

## Выводы

1. При использовании добавок синтез-газа к бензину (28%, 38% и 64%), в двигателе наблюдалось стабильное бездетонационное сгорание, с незначительным увеличением максимального давления сгорания при мощности двигателя 3 кВт и частоте вращения коленчатого вала 3000 об/мин.

2. При величине добавки синтез-газа 28–64% наблюдается снижение часового расхода бензина на 0,48–1,14 кг/ч и 0,5–1,3 кг/ч при мощности двигателя 1 и 3,3 кВт, соответственно. Снижение удельного эффективного расхода бензина на 0,37–0,92 г/кВт·ч и 0,09–0,24 г/кВт·ч достигнуто при тех же условиях.

3. Для ДВС 2Ч 7,2/6 снижение мощности достигает 48% при работе на синтез-газе по сравнению с использованием бензина без добавки синтез-газа.

## Список литературы:

1. Данилов А. М. Альтернативные топлива: достоинства и недостатки. Проблемы применения [Текст] / А. М. Данилов, Э. Ф. Каминский, В. А. Хавкин // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2003. – Т. 47, № 6. – С. 4-11.
2. Бризицкий, О.Ф. Разработка компактных устройств для получения синтез-газа из углеводородного топлива на борту автомобиля в целях повышения топливной экономичности и улучшения экологических характеристик автомобилей [Текст] / О.Ф. Бризицкий, В.Я. Терентьев, А.П. Христолюбов [и др.] // 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. Хрипач, Н.А. Термодинамический анализ рабочего цикла двигателя с термодинамическим генерированием водородного топлива [Текст] / Н.А. Хрипач, В.Ф. Каменев, В.М. Фомин [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – №4(36) – С. 45–50.
5. Каменев В.Ф. Теоретические и экспериментальные исследования работы двигателя на дизельно-водородных топливных композициях / В.Ф. Каменев, В.М. Фомин, Н.А. Хрипач // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – №7(27) – С. 32 – 42.
6. Марченко А. П. Анализ и математическое моделирование процесса сгорания водорода в четырехтактном одноцилиндровом двигателе с искровым воспламенением / А. П. Марченко, А. А. Осетров, И. Дубей, Р. Маамри // 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 p.
8. Тимошевський Б. Г. Експериментальні дослідження параметрів поршневого ДВЗ із системою термодинамічної конверсії біоетанолу [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, О. С. Митрофанов, А. С. Познанський, А. Ю. Проскурін // Двигатели внутреннего сгорания – 2011. – № 2. – С. 3–8.

## Bibliography (transliterated):

1. Danilov A. M. Al'ternativnye topliva: dostoinstva i nedostatki. Problemy primeneniya [Tekst] / A. M. Danilov, Je. F. Kaminskij, V. A. Havkin // Ros. him. zh. (Zh. Ros. him. ob-va im. D.I. Mendeleeva). – 2003. – T. 47, № 6. – S. 4-11.
2. Brizickij, O.F. Razrabotka kompaktnyh ustrojstv dlja poluchenija sintez-gaza iz uglevodородного

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. *Analiz i matematicheskoe modelirovanie processa sgoraniya vodoroda v chetyrehtaktnom odnocilindrovom dvigatele s iskrovym vosplamenenijem* / A. P. Marchenko, A. A. Osetrov, I. Dubej, R. Maamri // *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*. – 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. *Eksperimental'ne doslidzhennja parametriv porshnevo DVZ iz sistemoju termohimichnoї konversii bioetanolu* [Текст] / B. G. Timoshevs'kij, M. R. Tkach, O. S. Mitrofanov, A. S. Poznans'kij, A. Ju. Proskurin // *Dvigateli vnutrennego sgoraniya* – 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.