

**Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Познанський Андрій Станіславович



УДК 621.431

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕНЗИНОВИХ ПОРШНЕВИХ
ДВИГУНІВ ЗАСТОСУВАННЯМ ДОБАВОК СИНТЕЗ-ГАЗУ**

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Миколаїв – 2018

Дисертація є рукописом.

Робота виконана у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Ткач Михайло Романович,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Міністерство освіти і науки України, завідувач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування.

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор
Голіков Володимир Антонович,
Національний Університет "Одеська морська академія", Міністерство освіти і науки України, проректор з наукової роботи;

кандидат технічних наук, доцент
Білоусов Євген Вікторович,
Херсонська державна морська академія, Міністерство освіти і науки України, декан факультету суднової енергетики, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загально-інженерної підготовки.

Захист відбудеться «7» березня 2018 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.01 у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою:
ауд. 360, просп. Героїв України 9, м. Миколаїв, 54025.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою:
просп. Героїв України 9, м. Миколаїв, 54025.

Автореферат розісланий «2» лютого 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
д-р техн. наук, професор



А. П. Шевцов А. П. Шевцов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. У зв'язку з обмеженістю запасів нафтових палив питання підвищення ефективності його використання та застосування альтернативних палив є досить важливим. Створення високоефективних та малотоксичних енергетичних установок з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) пов'язано як з удосконаленням традиційних способів організації робочого циклу двигуна шляхом розробки нових модифікацій робочих процесів, створенням систем раціонального управління двигунів, так і з використанням альтернативних видів палив. Останній напрямок є одним з перспективних, оскільки дозволяє заощаджувати традиційні палива та підвищити ефективність роботи двигунів, що на них працюють.

У малотоннажному суднобудуванні досить широко застосовуються ДВЗ з іскровим запаленням потужністю до 300 кВт, що працюють найчастіше на бензині. Експлуатація таких транспортних засобів спричиняє забруднення не тільки атмосфери, а й водного простору. В судових бензинових двигунах в якості альтернативних палив відомо використання спиртів (етилового та метилового) і газів (водню, скрапленого нафтового, стисненого природного та синтетичних). Для малотоннажних суден використання етанолу має ряд переваг порівняно з бензином: менша токсичність, легкість біологічного розкладання, його відновлюваність як палива рослинного походження. Одночасно значна відмінність фізико-хімічних властивостей етанолу від нафтових палив потребує внесення в конструкцію двигуна та його паливної системи істотних змін.

Одним з перспективних способів застосування етанолу в поршневих ДВЗ є його термохімічне перетворення у синтез-газ (суміш горючих газів з питомою теплотою згоряння 25...30 МДж/кг, основними компонентами якого є CO , H_2 , CH_4). Зменшена питома теплота згоряння синтез-газу в порівнянні з традиційними паливами призводить, як відомо, до зниження потужності двигуна. Вирішення цієї проблеми можливо шляхом використання синтез-газу в якості вагової (збільшеної) добавки до основного палива.

Важливим аспектам організації робочого циклу двигунів, що працюють на традиційних паливах, присвячені дослідження відомих організацій: НТУ "ХПІ", НТУ, ХНАДУ, МДТУ ім. Баумана, а також вчених та фахівців: М.М. Глагольєва, Н.К. Шокотова, Н.Ф. Разлейцева, Р.М. Петриченко, А.П. Марченко, А.С. Кулешова, В.Г. Семенова, К.І. Генкіна, Н.В. Іноземцева, В.К. Кошкіна, Н.Н. Семенова, Б.М. Гончара, Б.В. Пугачова, І.І. Вібе. У вітчизняній та зарубіжній літературі відсутні результати досліджень особливостей організації робочого циклу двигунів з іскровим запаленням потужністю до 300 кВт, що працюють на бензині з суттєвими добавками синтез-газу. Процеси, що відбуваються в ДВЗ при згорянні суміші бензину та синтез-газу, недостатньо вивчені, зокрема не достатньо розкриті взаємозв'язок і вплив величини добавки синтез-газу на ефективність та основні параметри робочого циклу двигунів.

Таким чином, науково-прикладна задача, яка вирішується у дисертації – підвищення ефективності ДВЗ, що працюють на бензині з добавками синтез-газу, шляхом

раціональної організації робочого циклу є актуальною та викликає значний практичний інтерес.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності до тематичного плану фундаментальних науково-дослідницьких держбюджетних і госпдоговірних робіт Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова:

– № 1813 «Розробка науково-технічних основ створення когенераційних установок на основі водневих термохімічних циклів», ДР № 0111U002313, (2011-2013 рр.);

– № 1995 «Розробка та створення зразку комбінованої системи енергопостачання на базі водневих гідридних технологій», ДР № 0115U000306, (2015-2016 рр.);

– № 2068 «Розробка технології підвищення ефективності функціонування енергетичних установок малотоннажних суден шляхом використання спиртових палив», ДР № 0116U008670, (2016-2018 рр.).

Мета наукового дослідження – підвищення енергетичної ефективності поршневих двигунів малотоннажних суден шляхом удосконалення робочого процесу, пов'язаного (в наслідок) з додаванням синтез-газу до бензинового палива.

Основні задачі наукового дослідження:

- дослідження впливу вагомих добавок синтез-газу на параметри та показники бензинового ДВЗ малої (до 300 кВт) потужності;

- визначення характеристик тепловиділення в бензиновому ДВЗ малої потужності при використанні добавок синтез-газу;

- дослідження показників процесу згоряння бензинового ДВЗ малої потужності та встановлення впливу добавок синтез-газу на параметри моделі процесу згоряння;

- розробка способів раціональної організації робочого процесу бензинового ДВЗ малої потужності, що працюють з вагомими добавками синтез-газу;

- визначення раціонального діапазону значень добавок синтез-газу для бензинового ДВЗ малої потужності;

- модернізація стенду, системи вимірювань та реєстрації даних для експериментального вивчення параметрів та показників ДВЗ, що працює на бензині з вагомими добавками синтез-газу;

- впровадження наукових результатів дослідження в практику проектування та модернізації бензинових поршневих енергетичних установок малотоннажних суден.

Об'єктом дослідження є робочий процес двигуна з іскровим запаленням, що працює на бензині з добавками синтез-газу.

Предметом дослідження є параметри робочого процесу та характеристики тепловиділення в двигуні в залежності від добавок синтез-газу до бензину.

Методи дослідження. В основу дисертаційної роботи покладені традиційні методи досліджень складних технічних систем:

– метод зіставлення і науково-технічного прогнозування використовувався при порівнянні об'єктів, які виконують однакові функції з різною ефективністю;

– метод фізичного моделювання робочих процесів ДВЗ на різних видах палива;

– методи математичного моделювання з розробкою розрахункових алгоритмів і відповідних розрахункових програм використовувалися для створення математичної моделі процесу згоряння бензину з добавками синтез-газу;

– методи планування та обробки експерименту використовувалися при проведенні натурних та стендових випробуваннях ДВЗ, що працює бензині з добавками синтез-газу.

Наукова новизна отриманих результатів:

Вперше досліджено паливну ефективність бензинових двигунів внутрішнього згоряння об'ємом циліндра $180...500 \text{ см}^3$ з іскровим запаленням з масовою добавкою синтез-газу у кількості $25...65\%$, за результатами чого:

– встановлено, що застосування добавок синтез-газу приводить до зменшення теплових втрат та температури відпрацьованих газів і, як наслідок, до зростання ефективного ККД двигуна на $3...7\%$; причому збільшення величини добавки синтез-газу супроводжується зростанням ефективності двигуна;

– визначено, що в діапазоні масової добавки синтез-газу до бензину $25...65\%$ індикаторна потужність двигуна зменшується на $12...20 \%$ внаслідок скорочення кількості теплоти, що вводиться на одиницю об'єму циліндра, а максимальний тиск згоряння підвищується на $3...7\%$ завдяки збільшенню концентрації водню в паливі, причому зростання величини добавки синтез-газу призводить до зменшення індикаторної потужності двигуна та підвищення максимального тиску згоряння в порівнянні з роботою на бензині;

– доведено, що для двигунів з добавками синтез-газу і коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha = 1,1...1,22$ параметри рівняння для визначення швидкості тепловиділення при згорянні у формі І.І. Вібе носять змінний характер, при цьому встановлено, що значення показника характеру згоряння m варіюється в діапазоні $2,4...4,53$, його мінімальне значення відповідає початку процесу, а максимальне – останній стадії процесу; тривалість згоряння φ_z істотно залежить від величини добавки синтез-газу і складає $38...55$ град п.к.в., при цьому більші значення φ_z характерні для меншої величини добавки синтез-газу до бензину;

– отримані експериментальні індикаторні діаграми по навантажувальній характеристиці двигуна $2\text{Ч } 7,2/6$ з добавками синтез-газу до бензину, які дозволяють визначати характеристики тепловиділення при згорянні.

Удосконалена на базі експериментальних даних математична модель процесу згоряння бензинового палива з добавкою синтез-газу в циліндрі ДВЗ шляхом застосування запропонованих уточнених залежностей для знаходження змінних значень показників характеру згоряння m і тривалості згоряння φ_z , яка є складовою математичної моделі робочого циклу ДВЗ, що дозволило зменшити максимальну середньоквадратичну похибку визначення індикаторного тиску до 11% і підвищити точність розрахунку робочих процесів в циліндрі ДВЗ.

Отримав подальший розвиток підхід до визначення коефіцієнтів в рівнянні для розрахунку швидкості тепловиділення у формі І.І. Вібе (показників характеру згоряння m і тривалості згоряння φ_z) як змінних параметрів для бензинових двигунів з іскровим запалюванням і добавками синтез-газу, що дозволяє отримувати уточнені характеристики тепловиділення та ефективний ККД двигуна.

Достовірність отриманих у роботі результатів та висновків забезпечується застосуванням сучасних розрахунково-експериментальних засобів та методів, коректною постановкою задачі дослідження. Розрахунковий аналіз виконано на базі вдосконалених математичних моделей та програм розрахунку, які в достатньому обсязі враховують реальні фізичні особливості процесів, що досліджувалися. Розрахункові параметри робочого процесу ДВЗ, що працює на бензині з добавками синтез-газу, зіставлялися з експериментальними значеннями, що були отримані під час експериментальних досліджень. Отримані у роботі результати є логічними, не суперечать практиці використання альтернативних палив у ДВЗ, а також даним інших авторів.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблена та впроваджена в практику проектування математична модель робочого процесу ДВЗ з іскровим запаленням, що працює на бензині з добавками синтез-газу;

- розроблена програма розрахунку робочого циклу бензинових ДВЗ з добавками синтез-газу та вдосконалений експериментальний стенд для моторних випробувань газових альтернативних палив використовуються у навчальному процесі на кафедрі «Двигуни внутрішнього згоряння» Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова: у лекційних курсах, на практичних заняттях, курсовому та дипломному проектуванні.

Особистий внесок автора полягає у вирішенні задач, пов'язаних з ефективним використанням альтернативних палив в ДВЗ, а саме добавок синтез-газу до бензину.

Вдосконалена здобувачем математична модель згоряння дозволяє враховувати вплив величини добавки синтез-газу на характеристики тепловиділення та показники ДВЗ. Автором запропоновані співвідношення для визначення показника згоряння m і тривалості згоряння φ_z в напівемпіричному рівнянні тепловиділення І.І. Вібе в залежності від величини добавки синтез-газу.

На базі двигуна з іскровим запалюванням 2Ч 7,2/6 модернізовано експериментальний стенд (доопрацьована система подачі палива, система вимірювань і реєстрації даних) для дослідження основних параметрів робочого циклу і характеристик двигуна, що працює на бензині з добавками синтез-газу, а також виконана перевірка адекватності запропонованої математичної моделі.

Особисто здобувачем визначені задачі моделювання та основні параметри математичної моделі.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні та експериментальні результати дисертації були представлені на науково-практичних семінарах кафедри ДВЗ Національного університету кораблебудування (НУК, м. Миколаїв) у 2009–2017 рр. та наступних наукових конференціях, де отримали позитивну оцінку наукової спільноти:

IV, V, VI і VII Міжнародних науково-технічних конференціях «Суднова енергетика: стан і проблеми» (Миколаїв, НУК, 2009 р., 2011 р., 2013 р., 2015 р.);

II та V Міжнародній науково-технічних конференціях «Муніципальна енергетика: проблеми, рішення» (Миколаїв, НУК, 2009 р., 2013 р.);

Науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, присвяченій 90-річчю Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова (Миколаїв, НУК, 2010 р.);

XVI, XVIII, XIX, XX, XXI, XXII Міжнародних Конгресах двигунобудівників (Рибаче (АР Крим), 2011-2012 рр., Кobleво, 2013-2017 рр.);

II, III, V і VI Міжнародних науково-технічних конференціях. «Інновації в суднобудуванні й океанотехніці» (Миколаїв, НУК, 2011-2015 рр.);

IV, V Всеукраїнських науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми двигунобудування: стан, ідеї, рішення» (м. Первомайськ, ППІ НУК, 2011 р., 2015 р.);

Міжнародних науково-технічних конференціях. «Сучасний стан і проблеми двигунобудування» (Миколаїв, НУК, 2012 р., 2014 р., 2016 р.).

Всеукраїнських науково-практичних конференціях: "Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування" в 2013–2016 р. (ХДМА, м. Херсон).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 31 наукову працю, з них 14 наукових статей у спеціалізованих наукових виданнях по технічних науках, що входять у перелік, затверджений ДАК МОН України, 12 з яких опубліковано в виданнях, включених в міжнародні наукометричні бази та 17 тез міжнародних і всеукраїнських конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, списку публікацій здобувача, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Обсяг основного тексту дисертаційної роботи становить 163 сторінки, рисунків – 74, таблиць – 15. Список використаних джерел містить 108 найменувань на 12 сторінках. У додатках наведено акти впровадження результатів досліджень.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета й завдання дослідження, викладені наукова новизна, практичне значення одержаних результатів, зазначений внесок здобувача, наведені дані про апробацію результатів дисертаційної роботи та публікації за темою дослідження.

У **першому розділі** проаналізовані перспективні напрямки вдосконалення робочих процесів енергетичних установок з ДВЗ. Встановлено, що найбільш перспективним альтернативним паливом для ДВЗ у малотоннажному суднобудуванні являється саме добавка синтез-газу до традиційного палива. Використання такого виду палива дозволяє більш раціонально використовувати енергію палива та зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Розгорнутий аналіз вітчизняних та зарубіжних публікацій дозволив установити, що робочий процес двигуна, який працює на бензині з добавками синтез-газу, досліджений у недостатній мірі. Тому процеси сумішоутворення й згоряння палива з добавками синтез-газу потребують подальшого теоретичного та експериментального дослідження для визначення раціональних параметрів робочого циклу.

У **другому розділі** представлена технологічна карта дисертаційної роботи, що

дозволяє пов'язати запит практики, основні задачі дослідження, наукові результати, практичну цінність та впровадження результатів роботи. Засобами реалізації наукового дослідження стали теоретичні та експериментальні методи дослідження: зіставлення і науково-технічного прогнозування, прямої аналогії, фізичного моделювання, математичного моделювання.

Задачі експериментального дослідження сформульовані у відповідності до мети роботи, а методи проведення цього дослідження дають змогу перевірити адекватність математичної моделі та експериментально встановити вплив основних параметрів робочого циклу на швидкість тепловиділення в ДВЗ.

Завдання і методи математичного моделювання, прийняті в роботі, дозволили розробити модель робочого циклу, адекватну реальним процесам згоряння бензинової суміші з добавками синтез-газу.

У **третьому розділі** наведені відомості про експериментальний стенд, систему вимірювання, реєстрації результатів та основні результати експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження виконувалися для досягнення наступних цілей:

- визначення ефективних показників двигуна, меж змінення та шляхів їх підвищення при роботі двигунів з іскровим запаленням на бензині з добавками синтез-газу;

- одержання експериментальних залежностей, необхідних для уточнення та підвищення точності розрахунків робочого циклу ДВЗ при роботі на суміші бензину та синтез-газу;

- одержання достовірних даних для підтвердження результатів числових розрахунків, виконаних при математичному моделюванні робочого циклу двигуна.

Для вирішення задач наукового дослідження методом фізичного моделювання і проведення експериментальних досліджень модернізовано експериментальний стенд де досліджувалися особливості роботи ДВЗ з іскровим запаленням 2Ч 7,2/6, що працює на бензині з добавками синтез-газу. До складу стенду (рис. 1) входять дві підсистеми:

- 1) підсистема отримання синтез-газу;

- 2) підсистема на базі двигуна 2Ч 7,2/6 для дослідження роботи двигуна на бензині з добавками синтез-газу.

Склад отриманого синтез-газу визначався за допомогою газового хроматографа NeoCHROM Class B в «Екологічній лабораторії НУК імені адмірала Макарова» та складає за об'ємом: H_2 ($43\% \pm 5\%$), CO ($34\% \pm 5\%$) і CH_4 ($23\% \pm 5\%$). Густина синтез-газу – $0,63 \text{ кг/м}^3$.

Значення тиску в циліндрі двигуна та температури відпрацьованих газів під час експерименту вимірювалися за допомогою датчиків, сигнали яких реєструвалися та оброблялися комп'ютером. Для зняття індикаторних діаграм використовувався датчик динамічного тиску неперервної дії «Kistler» (модель 7613C), який використовується для безперебійного, безперервного, тривалого вимірювання тиску і перетворення цієї величини в цифровий сигнал постійного струму на виході.

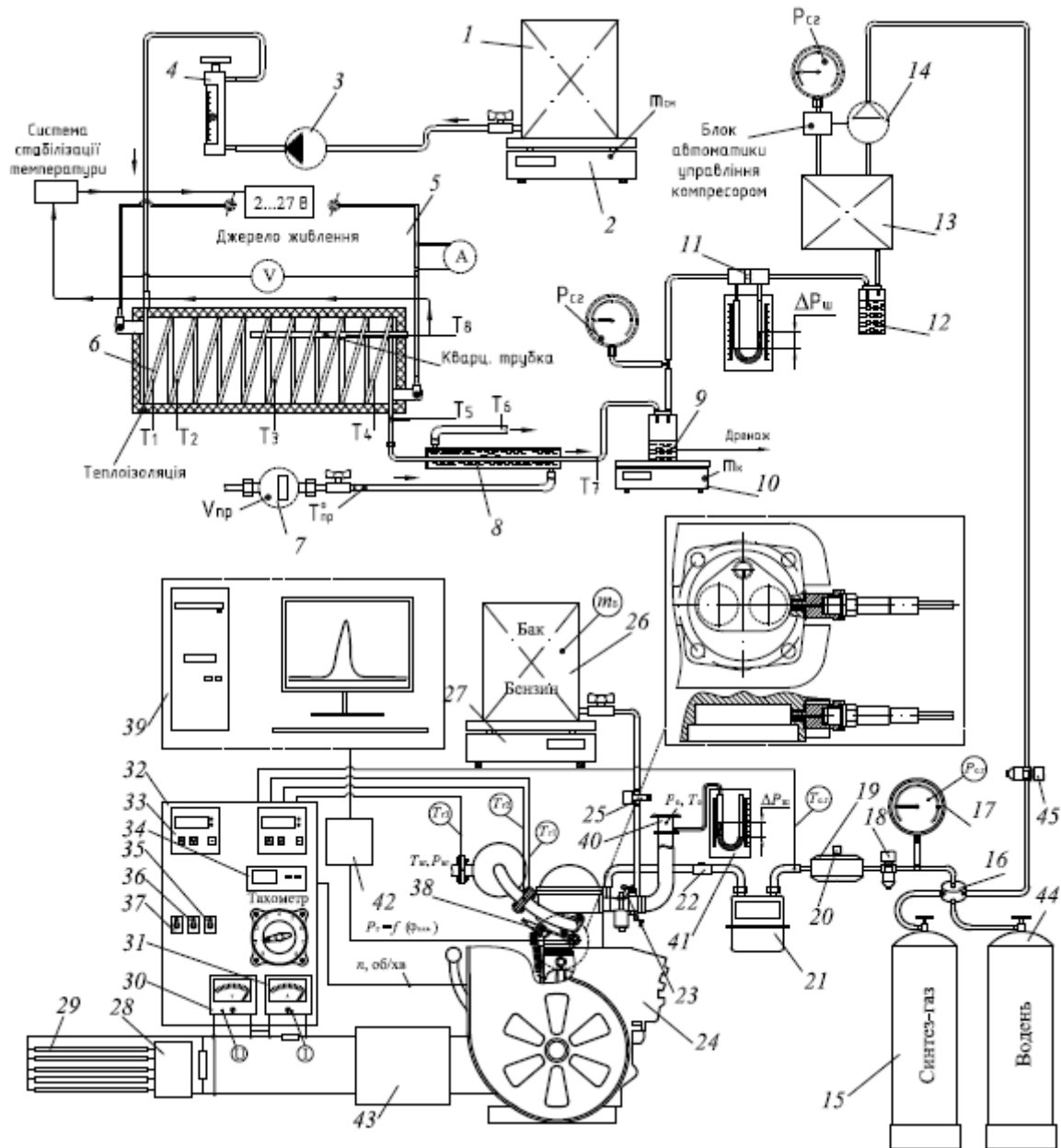


Рис. 1. Схема експериментального стенду на базі двигуна 2Ч 7,2/6:

1 – бак з етанолом; 2, 10, 27 – ваги; 3 – насос подачі етанолу в реактор; 4 – ротаметр; 5 – джерело живлення; 6 – термохімічний реактор прямого пропускання струму; 7 – насос подачі охолоджуючої води; 8 – теплообмінник типу «труба в трубі»; 9 – реторта збору конденсату; 11 – витратомірна шайба; 12 – водяний затвор; 13 – ресивер; 14 – компресор; 15 – балон з синтез-газом ($V = 0,3 \text{ м}^3$); 16 – загальний ресивер; 17 – манометр; 18, 45 – електромагнітний газовий клапан з фільтром; 19 – редуктор низького тиску; 20 – електромагнітний клапан; 21 – газовий лічильник; 22 – регулятор якості сумішоутворення; 23 – дросель; 24 – двигун з іскровим запалюванням 2Ч 7,2/6; 25 – електромагнітний бензиновий клапан; 26 – бак з паливом; 28 – система управління навантаженням; 29 – навантаження; 30 – вольтметр; 31 – амперметр; 32 – панель приладів; 33 – прилад 2TRM1; 34 – тахометр; 35 – тумблер ввімкнення бензинового електромагнітного клапана; 36 – тумблер ввімкнення електромагнітного газового клапана; 37 – тумблер ввімкнення електромагнітного газового пускового клапана; 38 – чутливий елемент датчика індикаторного тиску Kistler; 39 – ПК; 40 – витратомірна шайба; 41 – U-подібний манометр; 42 – електронний блок обробки сигналу датчика індикаторного тиску; 43 – генератор змінного струму; 44 – балон з воднем

На рис. 2 представлені індикаторні діаграми двигуна 2Ч 7,2/6 при роботі на бензині та індикаторні діаграми при роботі на бензині з добавками синтез-газу отримані експериментальним шляхом. Коефіцієнт надлишку повітря протягом експерименту підтримувався в діапазоні 1,1...1,22.

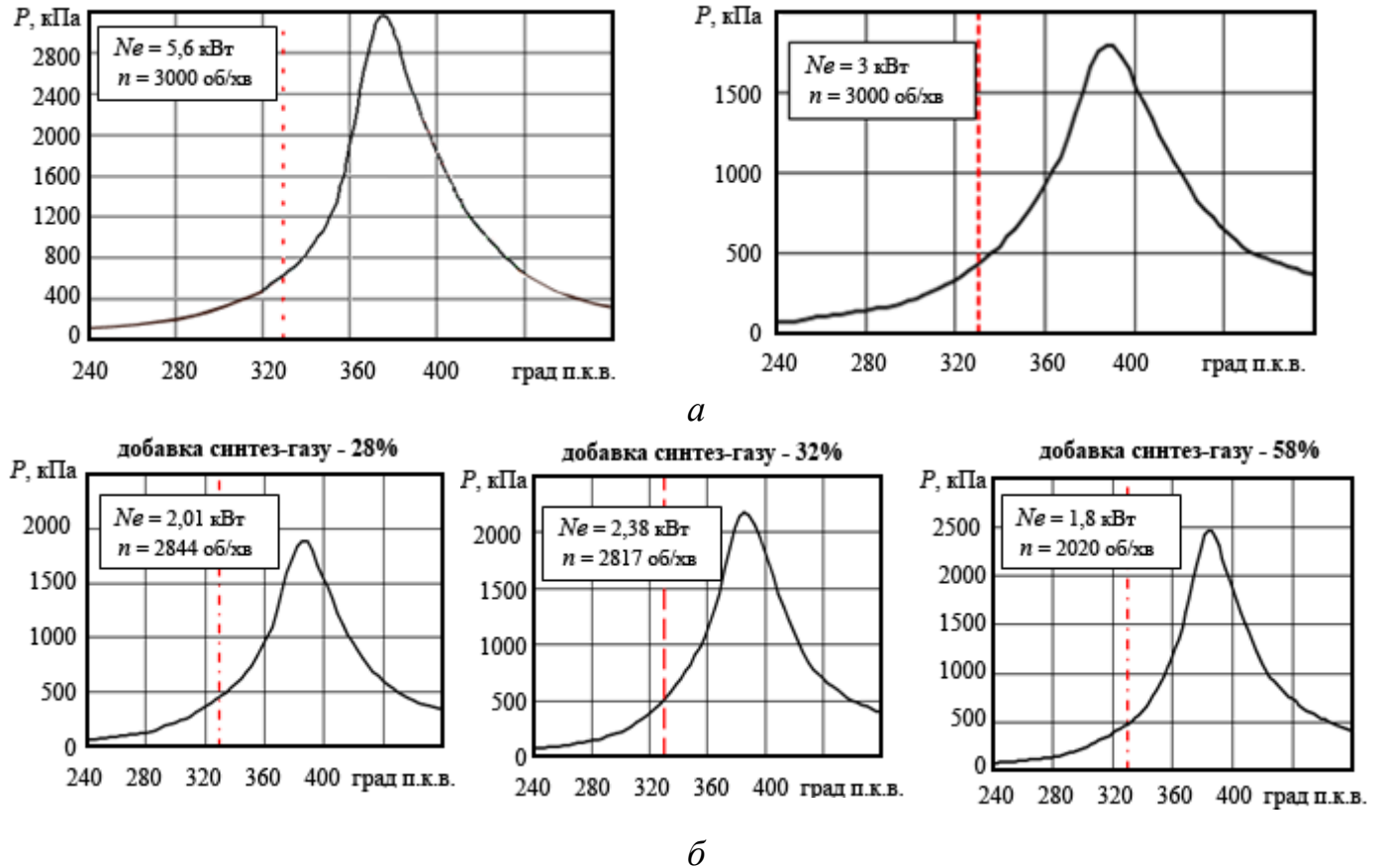


Рис. 2. Експериментальні індикаторні діаграми двигуна 2Ч 7,2/6:
а – при роботі на бензині; б – при роботі на бензині з добавками синтез-газу

Як свідчать результати, що отримано, при роботі двигуна 2Ч 7,2/6 на бензині з добавками синтез-газу та значенням коефіцієнту надлишку повітря 1,1...1,22 тривалість згоряння зменшується, при цьому максимум тиску згоряння зміщується в бік ВМТ у порівнянні з відповідними параметрами на бензині.

У четвертому розділі обґрунтовані вимоги до математичної моделі робочого циклу двигуна, що працює на бензині з добавками синтез-газу. Відповідно до цих вимог була доопрацьована математична модель процесу згоряння палива, запропонована І.І. Вібе. Базова математична модель розроблена на кафедрі ДВЗ Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова під керівництвом професора Ю.Л. Мошенцева.

В основу числового розрахунку робочого процесу у циліндрі ДВЗ як відкритій термодинамічній системі покладено універсальне узагальнене диференціальне рівняння, запропоноване канд. техн. наук, доц. Д.С. Мінчевим:

$$\frac{dp}{d\varphi} = p \left(\frac{\frac{dQ_x}{d\varphi}}{c_v T M} + \frac{\frac{\sum_1^{n_1} dI_j}{d\varphi}}{c_v T M} + \frac{\frac{dv}{M/\mu}}{d\varphi} - \frac{\frac{d(c_v)_T}{d\varphi}}{c_v} - \frac{c_{vm}}{c_v} \frac{\frac{\sum_1^{n_1} dM}{M d\varphi}}{d\varphi} - k \frac{d \ln V}{V d\varphi} - \frac{\sum_1^{n_2} \frac{dQ_{cmi}}{d\varphi}}{c_v T M} \right).$$

$$\frac{dQ_x}{d\varphi} = Q_H \cdot q_{\text{ц}} \frac{dx}{d\varphi}.$$

де Q_H – нижча теплота згоряння палива; dQ_{cmi} – обмін теплоти зі стінками теплосприймаючих поверхонь; dI_j – елементарна ентальпія мас, що надходять або залишають циліндр; $q_{\text{ц}}$ – циклова доза палива; x – частка згорілого палива; c_v , c_{vm} – питома ізохорна істинна та середня теплоємність робочого тіла відповідно; T , p – відповідно температура й тиск робочого тіла; v – молярна маса; μ – молекулярна маса; φ – змінне значення кута повороту колінчастого вала; k – показник адіабати; n – частота обертання колінчастого вала; dM – елементарна маса, що надходить або залишає циліндр.

Швидкість тепловиділення при згорянні для двигунів з іскровим запалюванням описується на базі напівемпіричного рівняння, запропонованого професором І.І. Вібе:

$$x = 1 - \exp \left(\ln(1 - x_z) \left(\frac{t}{t_z} \right)^{m+1} \right),$$

де x_z – коефіцієнт тепловиділення в момент завершення процесу згоряння; t/t_z – відносний час із моменту початку згоряння, що дорівнює безрозмірному куту повороту колінчастого вала двигуна φ/φ_z при сталій кутовій швидкості; t_z – загальна тривалість згоряння; m – емпіричний коефіцієнт характеру згоряння для конкретного типу двигуна та виду палива.

Рівняння адекватно відображає швидкість тепловиділення відповідно до двигунів, що використовують традиційне паливо, оскільки вміщає в собі значну кількість оброблених експериментальних даних. Застосування його для розрахунку параметрів двигунів, що працюють на бензині з добавками синтез-газу, призводить до значних відхилень між розрахунковими та експериментальними даними.

Підвищення адекватності математичної моделі ДВЗ на основі уточнення параметрів процесу згоряння бензину з добавками синтез-газу базується на підході використання змінного значення параметра m , запропонованого дослідницьким колективом під керівництвом д-ра техн. наук, проф. А.П. Марченко при використанні чистого водню та вдосконалений доц. О. С. Митрофановим шляхом врахування впливу вмісту водню в складі синтез-газу і коефіцієнта надлишку повітря на процес згоряння.

На основі обробки та аналізу експериментальних індикаторних діаграм двигуна 2Ч 7,2/6, що працює на бензині з добавками синтез-газу, при математичному моде-

люванні запропоновано залежності для знаходження змінного значення показника згоряння m (межі змінення якого складають 2,4...4,53) і тривалості згоряння φ_z в формулі І.І. Вібе. Запропоновані рівняння враховують величину добавки синтез-газу до бензину:

– показник згоряння
$$m_i = a\varphi_i + b ;$$

$$a = -0,1681 \cdot C_{CG}^3 + 0,284 \cdot C_{CG}^2 - 0,1148 \cdot C_{CG} + 0,0281 ;$$

$$b = 10,317 \cdot C_{CG}^3 - 14,877 \cdot C_{CG}^2 + 5,6164 \cdot C_{CG} + 2,5967 ;$$

де m_i – поточне значення показника згоряння по куту повороту; φ_i – поточне значення тривалості згоряння; C_{CG} – добавка синтез-газу, % від маси палива.

– тривалість згоряння
$$\varphi_z = \varphi'_z - 16,315 \cdot C_{CG}^2 - 2,239 \cdot C_{CG} + \Delta\varphi ;$$

де $\Delta\varphi$ – тривалість згоряння для бензинових двигунів.

Наведені рівняння отримані для концентрації водню в складі синтез-газу $43 \pm 5\%$ (справедливі для складу синтез-газу, отриманого в умовах експерименту).

Врахування концентрації водню в синтез-газі:

$$m_i = a\varphi_i \frac{\varphi'_z}{\varphi_z} + b ; \quad \varphi_z = \varphi'_z + \Delta\varphi_z ; \quad \Delta\varphi_z = -46,321 C_{H_2}^2 + 17,329 C_{H_2} + 1,234$$

де C_{H_2} – концентрація водню в складі синтез-газу.

При виборі коефіцієнтів a і b , а також їх поєднання в рівнянні зміни m за параметр оцінки прийнято досягнення мінімального значення середньоквадратичної похибки S визначення тиску в циліндрі ДВЗ при згорянні. Аналіз розподілу середньоквадратичної похибки визначення тиску в залежності від величини добавки синтез-газу до бензину свідчить, що її значення не перевищує 11% (рис. 3).

Удосконалена залежність для визначення швидкості тепловиділення в циліндрі ДВЗ при згорянні бензину з добавками синтез-газу у формі І.І. Вібе, при використанні в ньому отриманих в роботі експериментальних даних, має наступний вигляд:

$$\frac{dx}{d\varphi} = -\frac{C}{\varphi_z} \left(\frac{\varphi_i}{\varphi_z} \right)^{a\varphi_i + b} \exp C \left(\frac{\varphi_i}{\varphi_z} \right)^{a\varphi_i + b + 1} \left(a\varphi_i \ln \left(\frac{\varphi_i}{\varphi_z} \right) + a\varphi_i + b + 1 \right).$$

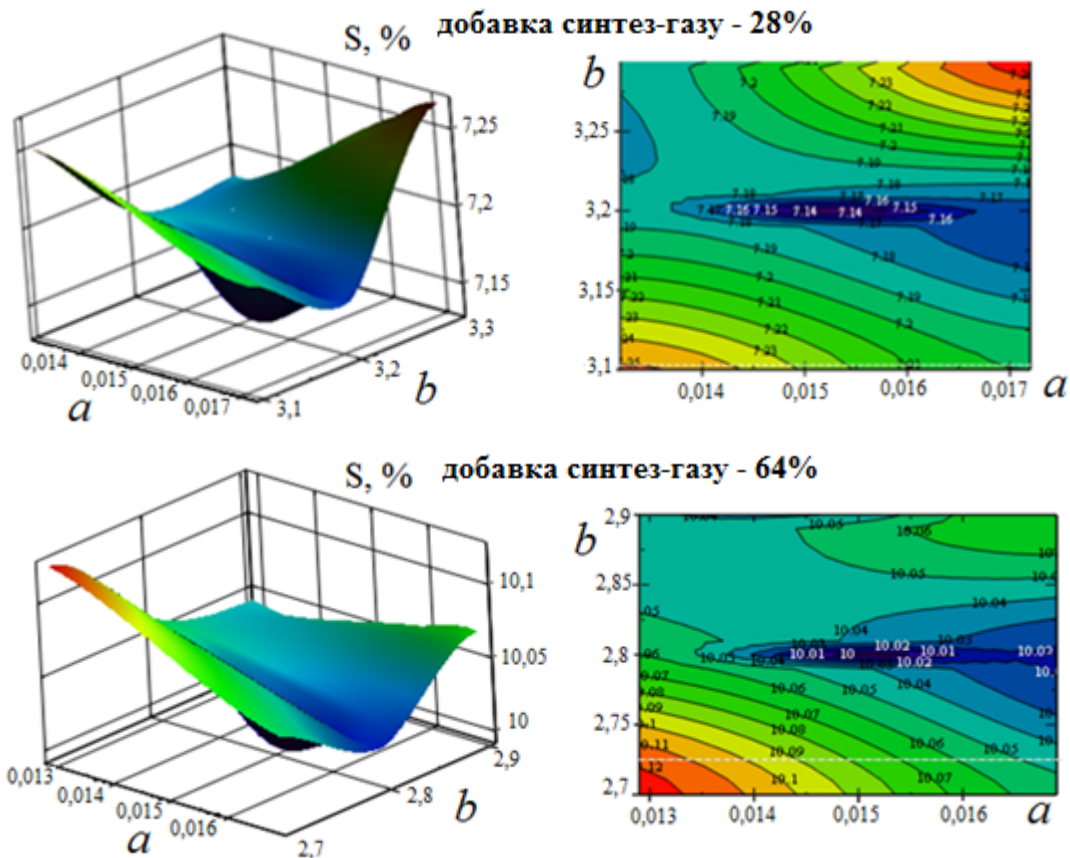


Рис. 3. Середньоквадратична похибка S визначення індикаторного тиску в залежності від величини добавки синтез-газу до бензину

Характеристики тепловиділення для двигуна 2Ч 7,2/6 при використанні масової добавки синтез-газу до бензину у діапазоні 25...65% свідчать, що відносна швидкість тепловиділення на 7...16% вище в порівнянні з роботою двигуна на бензині, при чому зростання величини добавки синтез-газу призводить до зростання відносної швидкості тепловиділення (рис. 4).

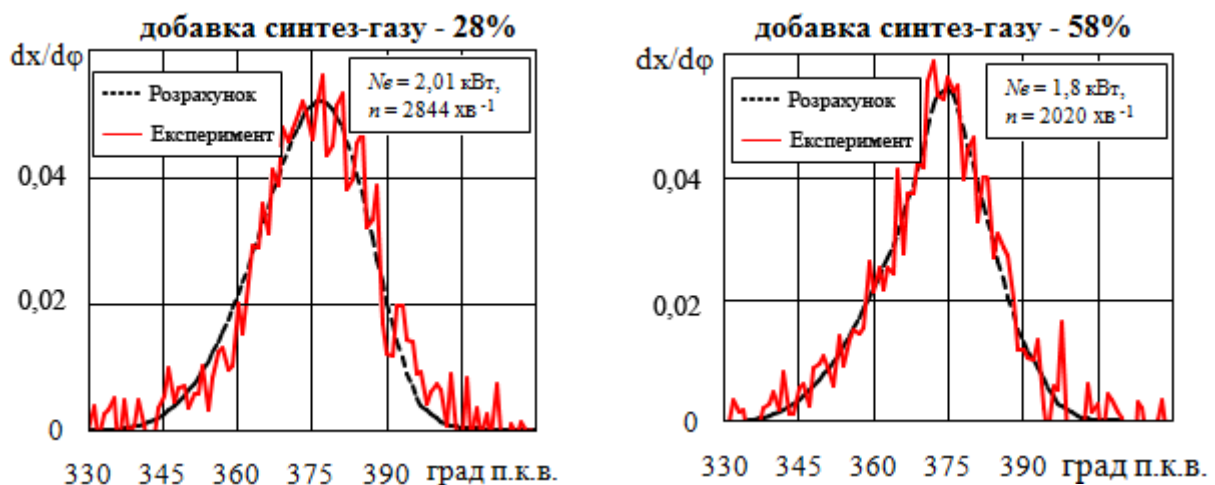


Рис. 4. Розрахункові та експериментальні характеристики тепловиділення при роботі двигуна 2Ч 7,2/6 на бензині з добавками синтез-газу

Порівняння експериментальних та розрахункових індикаторних діаграм при змінному та постійному показнику згоряння m для двигуна 2Ч 7,2/6 при роботі на бензині з добавками синтез-газу представлено на рис. 5. Діапазон зміни показника згоряння m дорівнює 2,4...4,53. При цьому використання залежності $m = const$ з мінімальним значенням призводить до збігу кривої тиску в першій половині процесу згоряння і значного відхилення у другій половині процесу згоряння. При моделюванні $m = const$ його значення визначено за умови мінімальної відносної середньоквадратичної похибки.

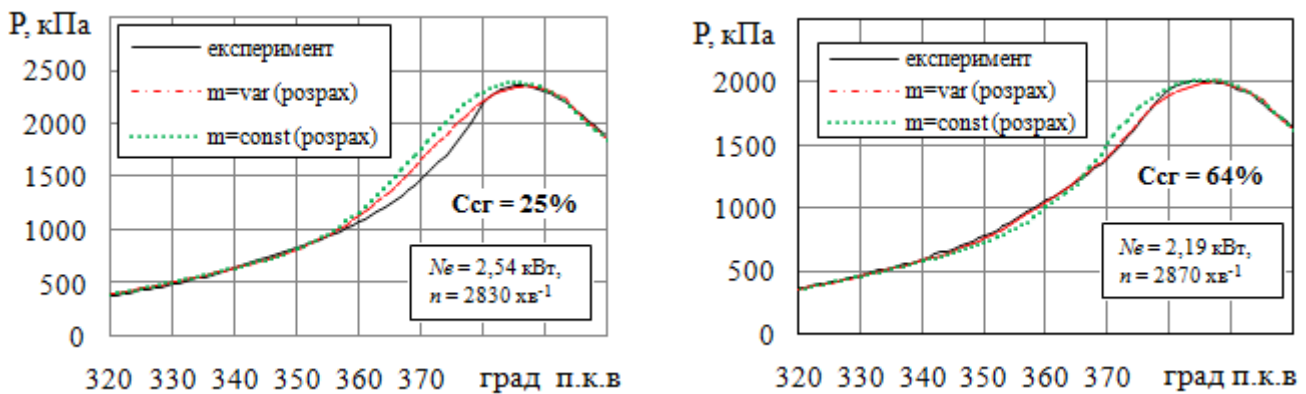


Рис. 5. Розрахункові та експериментальні індикаторні діаграми двигуна 2Ч 7,2/6 при роботі на бензині з добавками синтез-газу

При використанні змінного значення m , максимальна відносна середньоквадратична похибка визначення індикаторного тиску в циліндрі зменшується до 11%.

У п'ятому розділі виконані аналіз, дослідження та обґрунтування шляхів підвищення ефективності використання добавки синтез-газу до бензину в ДВЗ з іскровим запаленням. На базі уточнених рівнянь тепловиділення проведено математичне моделювання робочого циклу двигуна 4Ч 8,4/9,1 при різній величині добавки синтез-газу до бензину.

На рис. 6–7 представлені дослідження впливу величини добавки синтез-газу на робочий процес та індикаторні показники двигуна 4Ч 8,4/9,1.

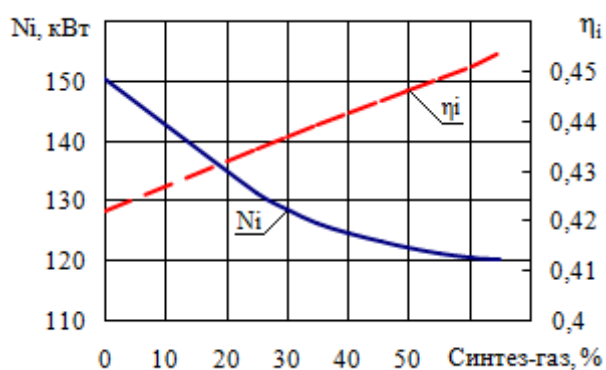


Рис. 6. Вплив величини добавки синтез-газу до бензину на індикаторну потужність N_i та індикаторний ККД η_i двигуна 4Ч 8,4/9,1

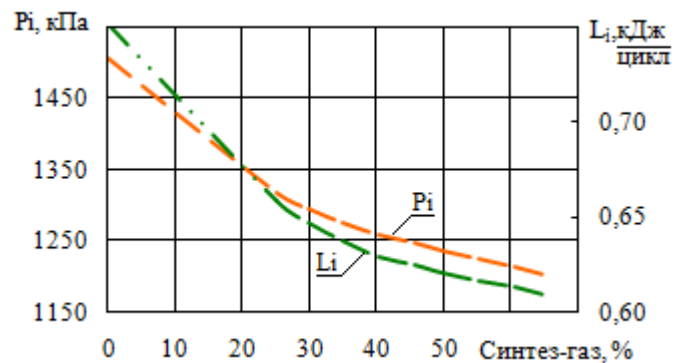


Рис. 7. Зміна індикаторного тиску P_i та індикаторної роботи циклу L_i двигуна 4Ч 8,4/9,1 в залежності від величини добавки синтез-газу до бензину

При роботі двигуна на бензині з добавками синтез-газу спостерігається зниження індикаторної потужності із 150,4 до 120,4 кВт, при роботі тільки на бензині та при добавці 65% синтез-газу до бензину відповідно. Зниження потужності при цьому досягає 20%.

Залежно від величини добавки синтез-газу до бензину 25...65% спостерігається зниження індикаторного тиску і індикаторної роботи циклу на 12...20%.

Вплив величини добавки синтез-газу до бензину на ефективні показники двигуна представлено на рис. 8.

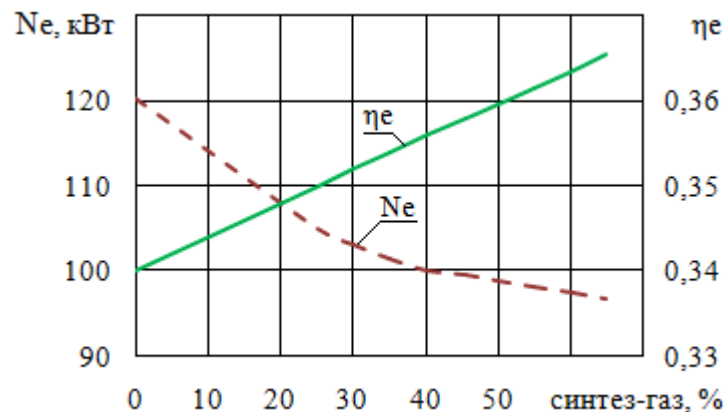


Рис. 8. Вплив величини добавки синтез-газу до бензину на ефективну потужність N_e та ефективний ККД η_e двигуна 4Ч 8,4/9,1

При величині добавки синтез-газу до бензину в діапазоні 25...65% від маси палива спостерігається зростання ефективного ККД на 3...7% відповідно. При роботі двигуна на бензині з добавкою синтез-газу 65% спостерігається зниження ефективної потужності на 20% в порівнянні з роботою двигуна на бензині.

Також у **п'ятому розділі** розглянуто використання отриманих наукових та прикладних результатів для обґрунтування модернізації енергетичних установок малотоннажних суден та представлено впровадження результатів досліджень на підприємстві ПАТ «Чорноморсудопроєкт», машинобудівному підприємстві ТОВ «МОТОР-ПЛЮС», а також у навчальному процесі кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння» Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

У **додатках** наведені акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У роботі поставлена і вирішена важлива **науково-практична задача** підвищення ефективності поршневих двигунів з іскровим запаленням шляхом використання альтернативного палива, а саме – добавок синтез-газу до основного палива. Отримані наступні результати:

1. Встановлено, що зростання ефективного ККД двигуна з іскровим запаленням і об'ємом циліндра 180...500 см³ на 3...7% досягається при величині масової добавки синтез-газу до бензину 25...65% за рахунок підвищення коефіцієнта надлишку повітря α до 1,1...1,22 при згорянні суміші бензину та синтез-газу (для бензину – 0,85...0,95), що приводить до зменшення теплових втрат, зниження температури ві-

дпрацьованих газів і скорочення викидів токсичних речовин, при цьому зростання величини добавки синтез-газу призводить до зростання ефективного ККД двигуна.

2. Визначено, що раціональний діапазон величини добавки синтез-газу до бензину становить 25...65 % маси рідкого палива, а добавка синтез-газу до бензину у вказаному діапазоні призводить до зменшення індикаторної потужності двигуна на 12...19,7% за рахунок меншої кількості тепла, яке вводиться на 1 м^3 об'єму циліндра, та підвищення максимального тиску згоряння на 3...7% за рахунок збільшеної концентрації водню в паливі, причому зростання величини добавки синтез-газу призводить до зменшення індикаторної потужності двигуна та підвищення максимального тиску згоряння в порівнянні з роботою двигуна на бензині.

3. Доведено, що для двигунів з іскровим запалюванням і об'ємом циліндра 180...500 см^3 , які працюють на бензині з добавками синтез-газу 25...65% маси рідкого палива і коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha = 1,1...1,22$, параметри залежності швидкості тепловиділення при згорянні у формі І.І. Вібе носять змінний характер, та встановлено, що значення показника характеру згоряння m варіюється в діапазоні 2,4...4,53, при цьому мінімальне значення показника характеру згоряння відповідає початку процесу згоряння та збільшується до максимального значення в кінці процесу згоряння; тривалість згоряння φ_z істотно залежить від величини добавки синтез-газу та лежить у діапазоні 38...55 град п.к.в, при цьому більші значення φ_z характерні для меншої величини добавки синтез-газу до бензину.

4. Експериментально встановлено, що при добавках синтез-газу до бензину 25...65% тривалість згоряння зменшується, при цьому максимум тиску згоряння зміщується в бік ВМТ. Для зниження негативного впливу зміщення максимуму згоряння до ВМТ кут випередження запалювання значно зменшується і для режиму максимальної потужності становить 5...11 $^\circ$ до ВМТ.

5. Отримав подальший розвиток підхід до визначення показника характеру згоряння m і тривалості згоряння φ_z у залежності для розрахунку швидкості тепловиділення при згорянні у формі І.І. Вібе для двигунів з іскровим запалюванням, що дозволило отримати більш адекватні характеристики тепловиділення та ефективні показники двигуна.

6. Удосконалена на базі експериментальних даних математична модель процесу згоряння бензинового палива та синтез-газу в циліндрі ДВЗ, яка інтегрується в загальну математичну модель робочого циклу, що дозволяє за рахунок використання запропонованих залежностей для знаходження уточнених змінних значень показника згоряння m і тривалості згоряння φ_z зменшити максимальну середньоквадратичну похибку визначення індикаторного тиску до 11%.

7. Результати дослідження впроваджені та використовуються в ПАТ «Черноморсудопроєкт», машинобудівному підприємстві ТОВ «МОТОР-ПЛЮС», а також у навчальному процесі кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова у лекційних курсах, при виконанні курсових і дипломних проєктів з дисциплін «Теорія робочих процесів», «Експлуатація та обслуговування ДВЗ».

8. Економічно підтверджено доцільність використання добавок синтез-газу до бензину для двигуна 4Ч 8,4/9,1. Годинна економія при експлуатації двигуна на бен-

зині з добавками синтез-газу (25...65%) завдяки скороченню споживання бензину складає 24...48% вартості бензину.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. **Познанський А. С.** Математичне моделювання конвертора для приготування синтез-газу [Текст] / А. С. Познанський // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2010. – № 3 (432). – С. 136–139.
2. Експериментальне дослідження параметрів поршневого ДВЗ із системою термохімічної конверсії біоетанолу [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, О. С. Митрофанов, А. С. Познанський, А. Ю. Проскурін // Двигатели внутреннего сгорания: Всеукраинский научно-технический журнал. – 2011. – № 2. – С. 3–8.
3. Характеристики экспериментальной системы конверсии биоэтанола ДВС 2Ч 7,2/6 [Текст] / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевский, А. С. Митрофанов, А. С. Познанский, А. Ю. Проскурин // Двигатели внутреннего сгорания: Всеукраинский научно-технический журнал. – 2013. – № 1. – С. 28–32.
4. Показатели эффективности двигателя с искровым зажиганием 2Ч 7,2/6 при работе на синтез-газе [Текст] / Б. Г. Тимошевский, М. Р. Ткач, А. С. Митрофанов, А. С. Познанский, А. Ю. Проскурин // Двигатели внутреннего сгорания: Всеукраинский научно-технический журнал. – 2013. – № 2. – С. 13–17.
5. Экспериментальное исследование особенностей работы искрового ДВС с системой термохимической паровой конверсии биоэтанола [Текст] / Б. Г. Тимошевский, М. Р. Ткач, А. С. Митрофанов, А. С. Познанский, А. Ю. Проскурин // Motrol. – 2013. – Vol. 15, nr 2. – С. 157–163.
6. Эффективность двигателя 2Ч 7,2/6 при работе на бензине с добавками синтез-газа [Текст] / Б. Г. Тимошевский, М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурин, А. С. Митрофанов, А. С. Познанский // Двигатели внутреннего сгорания: Всеукраинский научно-технический журнал. – 2014. – № 1. – С. 18–22.
7. Повышение эффективности двигателя 2Ч 7,2/6, работающего на этаноле с термохимической утилизацией теплоты отходящих газов [Текст] / Б. Г. Тимошевский, М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурин, А. С. Митрофанов, А. С. Познанский // Двигатели внутреннего сгорания: Всеукраинский научно-технический журнал. – 2014. – № 2. – С. 19–23.
8. **Митрофанов А. С.** Влияние добавки синтез-газа на скорость нарастания давления при сгорании [Текст] / А. С. Митрофанов, А. С. Познанский, А. Ю. Проскурин // Збірник наукових праць НУК. – 2015. – № 2. – С. 48–52.
9. Эффективность энергетической установки на базе ДВС 1Ч 7,5/6 с термохимической утилизацией тепла отходящих газов / Б. Г. Тимошевский, М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурин, А. С. Митрофанов, А. С. Познанский [Текст] // Двигатели внутреннего сгорания: Всеукраинский научно-технический журнал. – 2015. – № 2. – С. 30–34.
10. Характеристики процесса сгорания двигателя 2Ч 7,2/6 с добавками до 65% синтез-газа к бензину [Текст] / Б. Г. Тимошевский, М. Р. Ткач, А. С. Познанский, А. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурин // Двигатели внутреннего сгорания: Всеукраинский научно-технический журнал. – 2015. – № 1. – С. 33–37.
11. Повышение эффективности двигателя 4Ч 8,4/9,1 путём добавки синтез-газа к бензину [Текст] / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевський, А. С. Познанський, А. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін // Авиационно-космическая техника и технология. – 2016. – № 7 (134). – С. 134–138.
12. Анализ работы поршневого двигателя при работе на бензине с добавками синтез-газа [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, А. С. Митрофанов, А. С. Познанський, А. Ю. Проскурін // Авиационно-космическая техника и технология. – 2016. – № 4 (131). – С. 53–57.
13. **Митрофанов О. С.** Ефективність використання термохімічного перетворення етанолу в енергетичній установці на базі двигуна 1Ч 6,8/5,4 / О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін, А. С. Познанський // Авиационно-космическая техника и технология. – 2017. – № 8(143). – С. 26–30.
14. **Ткач М. Р.** Особливості математичного моделювання процесу згорання поршневих двигунів працюючих з добавками синтез-газу / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевський, О. С. Митрофанов, А.

С. Познанський, А. Ю. Проскурін // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2017. – № 9(144). – С. 14–18.

15. **Митрофанов А. С.** Исследование термохимической регенерации теплоты отходящих газов поршневого газового двигателя [Текст] / А. С. Митрофанов, А. С. Познанский, А. Ю. Проскурин // *Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми»*. – Миколаїв: НУК, 2009. – С. 108–109.

16. **Митрофанов А. С.** Разработка экспериментальной установки работающей на продуктах паровой конверсии биоэтанола [Текст] / А. С. Митрофанов, А. С. Познанский, А. Ю. Проскурин // *Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Муніципальна енергетика: проблеми, рішення»*. – Миколаїв: НУК, 2009. – С. 157–158.

17. Эффективность использования термохимической конверсии биоэтанола в современных ДВЗ [Текст] / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевський, О. С. Митрофанов, А. С. Познанський, А. Ю. Проскурін // *Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці, присвяченої 20-річчю незалежності України»*. – Миколаїв : НУК, 2011. – С. 237–238.

18. Деякі результати експериментального дослідження реактора для термохимічної конверсії біоетанола як альтернативного палива для суднових енергетичних установок [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурін, О. С. Митрофанов, А. С. Познанський // *Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 75-річчю Миколаївської області «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці»*. – Миколаїв : НУК, 2012. – С. 239–240.

19. Экспериментальное исследование параметров поршневого ДВС при работе на водородосодержащем газе [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, С. М. Доценко, А. С. Митрофанов, А. С. Познанський, А. Ю. Проскурин // *Матеріали V Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні проблеми двигунобудування: стан, ідеї, рішення»*. – Первомайськ : ППН НУК, 2013. – С. 199–203.

20. Результаты исследований параметров работы ДВС 2Ч 7,2/6 с системой термохимической паровой конверсии биоэтанола [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, А. С. Митрофанов, А. С. Познанський, А. Ю. Проскурин // *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування»*. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2013. – С. 312–315.

21. Особенности работы поршневого ДВС с добавками синтез-газа [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, А. С. Митрофанов, А. С. Познанський, А. Ю. Проскурин // *Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми»*. – Миколаїв : НУК, 2013. – С. 187–188.

22. Підвищення ефективності стаціонарних енергетичних установок з ДВЗ на основі використання синтез-газу [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, О. С. Митрофанов, А. С. Познанський, А. Ю. Проскурін // *Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Муніципальна енергетика: проблеми, рішення»*. – Миколаїв : НУК, 2013. – С. 142–143.

23. Повышение эффективности работы поршневого ДВС 2Ч 7,2/6 путем использования добавок синтез-газа к бензину [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурин, А. С. Митрофанов, А. С. Познанський // *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування»*. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2014. – С. 122–124.

24. Деякі результати експериментального дослідження ефективності використання термохимічної утилізації тепла для поршневого ДВЗ з примусовим запалюванням [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурін, О. С. Митрофанов, А. С. Познанський // *V Міжнародна науково-технічна конференція: «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці»* – Миколаїв : НУК, 2014. – С. 190–192.

25. Математическая модель энергетической установки на базе поршневого ДВС с термохимической утилизацией тепла отходящих газов [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурин, А. С. Митрофанов, А. С. Познанський // *Сучасний стан та проблеми двигунобудування: матеріали міжнар. наук.-техн. конф.* – Миколаїв: НУК, 2014 – С. 91–94.

26. Підвищення паливної економічності енергетичної установки на базі двигуна 1Ч 7,5/6 за рахунок термохімічної утилізації тепла [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурін, О. С. Митрофанов, А. С. Познанський // VI Міжнародна науково-технічна конференція: «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» – Миколаїв : НУК, 2015. – С. 190–193.

27. Підвищення ефективності енергетичної установки на базі двигуна 1Ч 7,5/6 з термохімічною утилізацією тепла відпрацьованих газів [Текст] / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, А. Ю. Проскурін, О. С. Митрофанов, А. С. Познанський // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми», присвяченої 75-річчю кафедри ССЕУ. – Миколаїв : НУК, 2015. – Ч. 2. – С. 53–56.

28. Вплив добавок синтез-газу до бензину на процес згоряння ДВЗ 2Ч 7,2/6 [Текст] / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевський, А. С. Познанський, О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2016. – С. 39–41.

29. **Митрофанов О. С.** Використання спиртового палива в енергетичних установках мало-тоннажних суден [Текст] / О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін, А. С. Познанський // Сучасний стан та проблеми двигунобудування: матеріали міжнар. наук.-техн. конф. – Миколаїв: НУК, 2016 – С. 81–83.

30. Підвищення ефективності двигуна 4Ч 8,4/9,1 шляхом використання альтернативного палива в судновій галузі / Б. Г. Тимошевський, М. Р. Ткач, А. С. Познанський, О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін // Сучасний стан та проблеми двигунобудування: матеріали міжнар. наук.-техн. конф. – Миколаїв: НУК, 2016 – С. 66–67.

31. **Познанський А. С.** Технологии получения альтернативных газовых топлив на основе спиртов [Текст] / А. С. Познанський, М. Р. Ткач // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки та технології машинобудування». – Миколаїв: НУК, 2016 – С. 26–27.

Особистий внесок здобувача у працях, що опубліковані у співавторстві:

[2] – обробка результатів випробувань та дослідження параметрів роботи системи конверсії біоетанолу; [3] – визначення та аналіз енергетичних показників реактора парової конверсії біоетанолу; [4] – визначення характеру зміни індикаторного ККД при роботі двигуна на синтез-газі, пропані та бензині; [5] – проектування і створення стенду з системою вимірювань для дослідження параметрів робочого процесу ДВЗ, що працює на синтез-газі; [6] – обробка та порівняння індикаторних діаграм при роботі двигуна на бензині з добавками синтез-газу; [7] – аналіз та обробка результатів випробувань двигуна 2Ч 7,2/6, працюючого на етанолі з термохімічною утилізацією тепла відпрацьованих газів; [8] – визначення впливу величини добавки синтез-газу на швидкість наростання тиску при згорянні; [9, 22, 23, 27, 28] – аналіз і обробка експериментальних індикаторних діаграм двигуна, працюючого на бензині з добавками синтез-газу; [10] – обробка навантажувальних характеристик двигуна при роботі на бензині з добавками синтез-газу; [11, 19] – проектування та створення стенду з системою вимірювань для дослідження параметрів робочого процесу ДВЗ, що працює на бензині з добавками синтез-газу; [12, 21] – дослідження параметрів робочого процесу ДВЗ, працюючого на бензині з добавками синтез-газу; [13] – проектування та створення стенду для дослідження процесу конверсії біоетанолу шляхом термохімічного перетворення, а також обробка результатів випробувань; [14] – визначення параметрів рівняння визначення швидкості тепловиділення двигунів з добавками синтез-газу; [15] – дослідження отримання синтез-газу з біоетанолу шляхом термохімічної регенерації теплоти відпрацьованих газів; [16, 26] – розробка та налагодка експериментального стенда, проведення досліджень показників роботи ДВЗ на синтез-газі; [17] – оцінка ефективності отримання синтез-газу з біоетанолу шляхом термохімічної регенерації теплоти відпрацьованих газів; [18] – постановка задач дослідження параметрів роботи системи конверсії біоетанолу; [20] – проектування і створення стенду з системою вимірювань для дослідження параметрів процесу парової конверсії біоетанолу; [24] – дослідження ефективності вико-

ристання термохімічної утилізації тепла для поршневого ДВЗ з примусовим запалюванням; [25] – вдосконалення математичної моделі енергетичної установки з термохімічної утилізацією тепла відпрацьованих газів; [29, 30] – визначення раціонального діапазону використання синтез-газу в якості добавок до основного палива; [31] – аналіз технологій отримання альтернативних газових палив на основі спиртів.

АНОТАЦІЯ

Познанський А. С. Підвищення ефективності бензинових поршневих двигунів застосуванням добавок синтез-газу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки». – Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Миколаїв, 2017.

Дисертація присвячена вирішенню задачі підвищення ефективних показників двигунів, що працюють на альтернативному паливі.

Встановлено, що при величині добавки синтез-газу до бензину в діапазоні 25...65% від маси палива спостерігається зростання ефективного ККД на 3...7% відповідно.

Установлено раціональний діапазон величини добавки синтез-газу до бензинового палива, 25...65 % від маси палива, який забезпечив прийнятні значення потужності, максимального тиску згоряння, витрати палива, а також ефективного ККД.

На основі аналізу та обробки експериментальних індикаторних діаграм при роботі двигунів на бензині з добавками синтез-газу, для розрахунку при математичному моделюванні робочого циклу двигунів з іскровим запаленням з об'ємом циліндра 180...500 см³, були запропоновані залежності для знаходження значень показника характеру згоряння m і тривалості згоряння φ_z у напівемпіричному рівнянні І.І. Вібе.

Визначено межі зміни m 2,4...4,53 в залежності від величини добавки синтез-газу до основного палива в діапазоні 25...65%. Тривалість згоряння лежить в межах 38...55 град п.к.в.

Ключові слова: альтернативне паливо, етанол, синтез-газ, робочий процес, показник характеру згоряння, тривалість згоряння.

АННОТАЦИЯ

Познанский А. С. Повышение эффективности бензиновых поршневых двигателей применением добавок синтез-газа. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.05.03 «Двигатели и энергетические установки». – Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, 2017.

Диссертация посвящена решению задачи повышения эффективных показателей двигателей, работающих на альтернативном топливе.

Установлено, что при величине добавки синтез-газа к бензину в диапазоне 25...65% от массы топлива наблюдается рост эффективного КПД на 3...7% соответственно.

Установлен рациональный диапазон величины добавки синтез-газа к бензину, 25...65% от массы топлива, который обеспечил приемлемые значения мощности, максимального давления сгорания, расхода топлива, а также эффективного КПД.

На основе анализа и обработки экспериментальных индикаторных диаграмм при работе двигателей на бензине с добавками синтез-газа, для расчета при математическом моделировании рабочего цикла двигателей с искровым зажиганием с объемом цилиндра 180...500 см³, предложены зависимости для нахождения значений показателя характера сгорания m и продолжительности сгорания φ_z в полуэмпирических уравнении И.И. Вибе.

Определены границы изменения m 2,4...4,53 в зависимости от величины добавки синтез-газа к основному топливу в диапазоне 25...65%. Продолжительность сгорания лежит в пределах 38...55 град п.к.в.

Ключевые слова: альтернативное топливо, этанол, синтез-газ, рабочий процесс, показатель характера сгорания, продолжительность сгорания.

ABSTRACT

Poznanskyi A. S. Increasing the efficiency of gasoline piston engines by adding synthesis gas. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences (PhD) by the specialty 05.05.03 “Engines and power plants”. – Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, 2017.

The dissertation suggests a solution to the problem of improving the efficiency indicators of the engines operating on alternative fuels (namely, on the mixture of gasoline and synthesis gas) through the rational organization of the combustion process.

The most promising ways to increase the effective performance of spark-ignition engines using synthesis gas as an additive to the main fuel are determined.

A rational range of the value of the synthesis gas additive to gasoline was established, 25...65% of the mass of fuel, which provided acceptable values of power, maximum combustion pressure, fuel consumption, and also effective efficiency.

For the first time ever, for a spark-ignition internal combustion engine with the cylinder volume of 180...500 cm³ has been established that the fuel efficiency of the engine is increased by 3...7% when it is running on gasoline with the synthesis gas additive in the amount of 25...65% (wt.).

Determined that with the synthesis gas additive to gasoline in the range of 25...65%, the indicated power of the engine decreases by 12...19.7% due to reduction of the amount of heat introduced per unit of the cylinder volume, and the maximum combustion pressure increases by 3...7% due to an increase in the concentration of hydrogen in the fuel.

It has been proved that for the engines running on gasoline with the synthetic gas additives of 25...65% (wt.) and the excess air coefficient α within 1.10...1.22, the parameters-indicators of the dependence for determining the heat release rate during combustion in the form of I.I. Vibe are of a variable nature. At that, it has been established that the value of the combustion index m varies in the range of 2.4...4.53.

The minimum value of the combustion index corresponds to the beginning of the process, and its value increases up to the maximum at the last stage of the process. The duration of combustion φ_z largely depends on the amount of the synthesis gas additive and is 38...55 degrees of the crankshaft rotation; larger values of φ_z are peculiar for a smaller amount of the synthesis gas additive.

There have been obtained experimental indicator diagrams on the load characteristics of the engine 2C 7.2/6 with the synthesis gas additives to gasoline in the amount of 25...65% of the fuel mass, which allowed determining the characteristics-parameters of heat release during combustion.

The experimental data became the basis for improvement of the mathematical model of combustion of gasoline with the addition of synthesis gas (in the ICE cylinder). It is integrated into a general mathematical model of the operating cycle, which allows reducing the maximum mean squared error of calculation of the indicated pressure up to 11% and improving the accuracy of calculation of the operating processes in the ICE cylinder. This is achieved through using the dependencies suggested for calculating the specified variable values of the combustion index m and the duration of combustion φ_z .

Further development has been given to the approach to determining the combustion index m and the duration of combustion φ_z depending on calculation of the heat release rate during combustion for the spark-ignition engines in the form given by I.I. Vibe. It allowed obtaining more adequate heat release characteristics and effective performance of the engine.

There has been developed and implemented in the design practice a mathematical model of the operating process of the spark-ignition ICE running on gasoline with the synthesis gas additives.

The developed program for calculating the operating cycle of the ICE operating on gasoline with the synthesis gas additives and the improved experimental stand for motor testing of gas alternative fuels are implemented in the educational process in the Department of Internal Combustion Engines of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding in lecture courses, practical classes, term paper and diploma thesis designing.

Key words: alternative fuel, ethanol, synthesis gas, operating process, combustion index, duration of combustion.

Підписано до друку 30.01.2018. Папір офсет. Формат 60х84/16.
Гарнітура «Таймс». Друк ризограф. Ум. друк. арк. 0,9.
Тираж 100 прим. Зам. № 1015.

Віддруковано з готових оригінал-макетів
у поліграфічному підприємстві ПП фірма «Різо-графіка»
54017, м. Миколаїв, пр., Центральний, 94.
Свідоцтво А01 № 492190