

## **ВЗАЄМОЗАЛЕЖНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ДВОХ ГАЗОВИХ ПАЛИВ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

*Лісовал А.А.*, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна,  
li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

## **INTERDEPENDENT REGULATION OF TWO GAS FUELS TO MAINTAIN THE NOMINAL POWER PLANT**

*Lisoval A.A.*, Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine,  
li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

### **Постановка проблеми**

В економіках країн з усталеними темпами розвитку відповідно ступеню екологічного впливу на довкілля є місце таким видам діяльності: з суттєвим вкладом у захист оточуючого середовища, з опосередкованим допоміжним впливом на взаємозалежні види діяльності, з позитивним впливом на час перехідного періоду. Саме до останнього виду діяльності відноситься тимчасове «зелене» (Green Deal) маркування атомних і газових теплових електростанцій (ТЕС) у порівнянні з вимушеним тимчасовим дозволом на поновлення роботи в Євросоюзі (ЄС) вугільних ТЕС. Але на газових ТЕС для виконання кліматичних цілей вводять певні умови та обмеження – це обов'язкове застосування когенераційних технологій та нормування викидів CO<sub>2</sub> в атмосферне повітря 100...270 г/(кВт\*год).

Внесок малих електростанцій у виробництво електричної і теплової енергії поступово зростає [1]. Поширенням джерелом для вироблення енергії в таких когенераційних установках є дизель, а зараз конкуренцію йому складають газові двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ). В сучасних когенераційних установках на основі поршневих двигунів коефіцієнт використання теплоти від згорання палива може досягати 85...90 %, а економія палива може досягати 40 % у порівнянні з розділним виробництвом аналогічної кількості електроенергії і теплової енергії [2].

Актуальним питанням для України є застосування мобільних енергетичних установок з генерацією електричної, теплової енергії, а влітку і холоду. Споживачами таких енергоустановок є агропромислові і житлово-комунальні комплекси, державна служба з надзвичайних ситуацій, оборонні підприємства/структури, індивідуальні господарства/бізнеси та інші. На установках з потужністю 3...300 кВт найбільш часто у якості приводу електрогенератора застосовують автотракторні ДВЗ, які за необхідності конвертують для роботи на газових паливах, обладнують когенераційним контуром і електрогенератором, або ще абсорбційним термічним трансформатором при полігенерації [3].

В когенераційних установках можна використовувати альтернативні газові палива. До їх числа в Україні відносять біогаз і шахтний газ. В газових двигунах можливо застосовувати суміші природного газу (метану) і біогазу. Використання біогазу як моторного палива відомо давно. Виробництво біогазу здійснюється в результаті процесу метанового бродіння відходів сільського господарства, біологічної діяльності людини, тварин в спеціальних хімічних реакторах або в результаті розкладання органічних відходів на смітєвих полігонах. Залежно від природи сировини склад біогазу різний і відповідно калорійність палива буде теж різною. Прийнято вважати, що біогаз складається з таких основних компонентів: метану (50...80 %), вуглекислого газу (25...50 %), водню (1...5 %) і азоту (0,3...3 %) [4].

Застосування біогазу у якості моторного палива, безумовно, розширює асортимент газових палив, однак, використання низькокалорійних газових палив можливо тільки при певній концентрації в ньому горючої (метанової) складової або примусовому збільшенні кількості горючих компонентів. Забезпечувати останні умови повинна автоматична система регулювання подачі газового палива.

### **Аналіз попередніх публікацій, визначення мети і завдання дослідження**

На кафедрі двигунів і теплотехніки НТУ було розроблено методику розрахунку когенераційного обладнання на основі теорії теплового балансу поршневого ДВЗ [5]. Розрахунок

теплого балансу приводного поршневого газового двигуна 8Ч10/8,8, який було виконано для номінального режиму ( $1500 \text{ хв}^{-1}$ ) показав, що крім генерації 30 кВт електричної енергії можна отримати додатково до 162 МДж теплової енергії без залучення відбору теплоти від системи мащення. При генерації лише електричної енергії к.к.д. установки за номінального режиму становить близько 30 %, а при когенерації – збільшується до 75 %. У співпраці з Інститутом газу НАН України (ІГ НАНУ) накопичено досвід зі створення когенераційних установок і газових двигунів, систем автоматики для їх роботи.

У лабораторії ХНАДУ автотракторний дизель 6Ч13/14 був конвертований в газовий двигун. Для роботи на природному газі ступінь стискання зменшено до 11,8 одиниць, розроблена система запалювання з більш інтенсивним іскроутворенням. Стендові випробування підтвердили стійку роботу газового ДВЗ на збіднених сумішах при  $\alpha = 1,4 \dots 1,6$ . Запропоновано систему подачі газу з електронним управлінням, апробовано методику визначення витрати газового палива [6].

В НТУ «ХПІ» проведені комплексні теоретичні та експериментальні дослідження із застосування низькокалорійного шахтного газу в газових ДВЗ, конвертованих з транспортних дизелів моделі Д100. Автори робіт розглядали можливість використання таких конвертованих двигунів у якості приводу електростанцій потужністю 1100...2500 кВт [7]. Основною особливістю конвертації є застосування форкамерно-факельного процесу згорання газового палива. Для забезпечення номінальної потужності авторами були запропоновані конструктивні заходи, які збільшують циклову подачу низькокалорійного палива.

Найбільш близькими до тематики досліджень є результати випробувань добавки синтез-газу до бензину і етанолу, проведені в НУК ім. Макарова [8, 9]. Теоретичні та експериментальні дослідження проведені для широкого діапазону складу суміші  $\alpha = 1,0 \dots 2,2$  при різних кількісних добавках синтез-газу. Проведено дослідження робочого процесу, токсичності викидів відпрацьованих газів. Стендові випробування були виконані на двигунах 2Ч7,2/6 і 4Ч10,16/9,1 з іскровим запалюванням. Авторами встановлено, що до основного палива можна додавати до 65 % синтез-газу, властивості якого ближчі до нафтового газу (пропан-бутану).

У ППМаш ім. А.М. Підгорного НАНУ провели теоретичні дослідження із застосування біогазу як добавки до природного газу в поршневих ДВЗ [10]. Автори роботи за дослідженнями робочого процесу газового ДВЗ прогнозують не тільки енергетичні, паливно-економічні показники, але і токсичність за компонентам відпрацьованих газів транспортного дизеля конвертованого в газовий ДВЗ при різному процентному співвідношенні метан-біогаз.

Дослідники в роботі [1] моделювали біогаз змішуючи природний газ і вуглекислий газ. При збільшенні негорючої частки  $\text{CO}_2$  в модельному газі зменшуються концентрації викидів  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах. При збільшенні частки  $\text{CO}_2$  в модельному газі до 30 % і далі, збільшуються концентрації викидів  $\text{CO}$ . Подальше зростання  $\text{CO}_2$  в модельному газі до 40 % призводить до збільшення викидів вуглеводнів у відпрацьованих газах ДВЗ.

**Мета роботи** – узагальнити результати проведених досліджень із застосуванням модельного газу в газовому ДВЗ, що працює на привід електростанції, і розробити алгоритм системи взаємозалежного регулювання подачею суміші біогазу і природного газу в ДВЗ без втрат номінальної потужності електростанції.

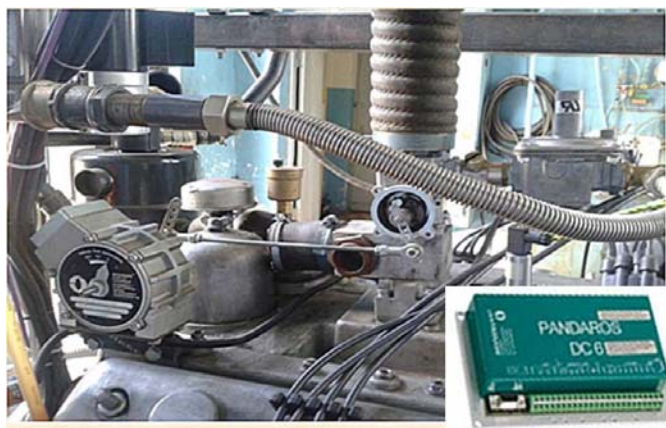
#### **Система дозування газового палива та методика експериментальних досліджень**

Для вирішення поставлених завдань в лабораторії ІГ НАНУ були проведені спільні дослідження на газоелектричній установці з номінальною потужністю 30 кВт. Базовий бензиновий двигун 8Ч10/8,8 був конвертований в суто газовий двигун (ступінь стискання  $\epsilon = 8,5$ ).

Загальний вид розробленої системи дозування газового палива показано на рис. 1.

Регулювання і дозування газоповітряної суміші здійснюється в спеціальному газовому змішувачі за допомогою дросельної заслінки. Привід дросельної заслінки газового змішувача забезпечує електронний виконавчий орган StG 2010-SV (крайній лівий вузол на рис.1) з мікропроцесорним управлінням від блоку Pandaros фірми HEINZMANN.

У газовий змішувач надходить після очищення атмосферне повітря і газове паливо з редуктора (клапана) нульового тиску (крайній правий вузол на рис.1, б). Редуктор нульового тиску стабілізує тиск газового палива на вході в газовий змішувач. Після деякого доопрацювання конструкції в камері нульового редуктора відбувалося змішування природного і вуглекислого газів, тобто формування модельного газу.



a)



б)

Рисунок 1 – Фото системи подачі газового палива:

а) загальний вид системи дозування з мікропроцесорним блоком управління;

б) привід дросельної заслінки газового змішувача

Figure 1 – Photo of the gas fuel supply system:

a) general view of the dosing system with a microprocessor control unit;

b) throttle drive of the gas mixer

Особливістю мікропроцесорного блоку Pandaros є послідовна дія пропорційного регулятора частоти обертання колінчастого вала газового ДВЗ і ПД-регулятора виконавчого органу, кінематично зв'язаного з дросельною заслінкою. Виконавчий орган обладнаний зворотним зв'язком за положенням вихідного поворотного вала, який з'єднаний з дросельною заслінкою. Крім того, виконавчий орган має обмеження за величиною максимального струму управління.

Пропорційна складова регулятора була налаштована на підтримку частоти обертання колінчастого вала (приводу електрогенератора)  $1500 \text{ хв}^{-1}$  зі ступенем нерівномірності 0,3 %. Переміщення органа керування паливоподачі від холостого ходу до номінального положення при «миттєвому» накиданні 100 % зовнішнього навантаження відбувалось за 1 с. Налаштування параметрів ПД-регулятора здійснювали на метані в режимі холостого ходу з подальшою перевіркою в динаміці при «миттєвому» скиданні-накиданні 100 % навантаження. Навантаження задавалось реостатами. Критеріями налаштування були стійкість роботи ДВЗ, мінімальна тривалість перехідного процесу з дотриманням умови – не більше одного перерегулювання. При роботі на модельному газі налаштування регулятора не змінювалися.

Для фізичного моделювання добавок біогазу до природного газу в модельному газі збільшували об'ємну частку вуглекислого газу до 30 % і більше в залежності від зовнішнього навантаження. Розрахунковим шляхом визначили аналогічне співвідношення стисненого природного газу (СПГ) і добавки біогазу. Для розрахунку прийняли, що в СПГ міститься 90...95 % метану, а в біогазі 60 % метану і 40 % вуглекислого газу.

### Результати досліджень

Розроблена мікропроцесорна система дозування газового палива забезпечує регулювання частоти обертання колінчастого вала і відповідно вала електрогенератора із заданим ступенем нерівномірності. За роботи на природному газі склад газоповітряної суміші може підтримуватися в межах 1,0...1,55 коефіцієнта надміру повітря. За роботи на модельному газі розроблена система автоматично підтримувала коефіцієнт надміру повітря газоповітряної суміші в межах 1,0...1,33. Мікропроцесорне дозування кількості газоповітряної суміші здійснюється автоматично дросельною заслінкою, яка встановлена у газовому змішувачі. Система дозування відноситься, за автомобільною класифікацією, до третього покоління систем живлення газових ДВЗ.

Результати досліджень газового ДВЗ 8Ч10/8,8 на модельному газі є основою для здійснення переходу від кількісного до якісного регулювання паливної суміші природного газу з добавками біогазу, тобто для переходу до четвертого покоління систем живлення. Необхідно створити два окремих контури автоматичного регулювання подачами повітря і сумішевого палива з біогазу і природного газу, які взаємозалежні між собою через зовнішнє навантаження.

У табл. 1 наведено результати стендових випробувань застосування модельного газу на газовому двигуні 8Ч10/8,8, що працює на привід електрогенератора. Розрахункові величини в табл. 1 можна розглядати як рекомендації щодо можливих добавок біогазу до СПГ в газовому поршневому ДВЗ електростанції малої потужності.

Таблиця 1 – Рекомендації щодо добавки біогазу в газовий ДВЗ

Table 1 – Recommendations for adding biogas to a gas internal combustion engine

| Зовнішнє навантаження,<br>% | Співвідношення<br>СПГ / Біогаз | Вміст метану в суміші,<br>% |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 0...10                      | 15 / 85                        | 63...66                     |
| 10...40                     | 25 / 75                        | 66...72                     |
| 40...70                     | 40 / 60                        | 72...78                     |
| 70...90                     | 65 / 35                        | 78...83                     |
| 90...100                    | 80 / 20                        | 83...90                     |
| 100...110                   | 100 / 0                        | 90...95                     |

Результати досліджень є основою для створення алгоритму взаємозалежного регулювання подачею суміші біогазу і природного газу в залежності від зміни навантаження.

Було проведено газовий аналіз відпрацьованих газів за різних навантажень. Газовий аналіз проводили при заборі проб відпрацьованих газів до каталітичного нейтралізатора і після нього. Такі дослідження виконані і при роботі газового ДВЗ на СПГ, і при роботі на модельному газі. Концентрації шкідливих речовин визначалися на японському комплексному газоаналізаторі МЕХА. Попередньо проби відпрацьованих газів були відібрані з спеціальні термічні мішки.

Для підтвердження правильності настройки газового обладнання вибрано три експлуатаційних режиму електростанції: холостий хід, 50 % навантаження, номінальний режим.

Значення концентрацій СО у відпрацьованих газах були дуже маленькі, а значення СО<sub>2</sub> змінювалися при налаштуванні на незначну величину. Встановлено, що найбільш інформативними і доступними для застосування в умовах експлуатації є значення концентрацій вуглеводнів та залишкового кисню у відпрацьованих газах, визначені до каталітичного нейтралізатора.

Рекомендовані значення концентрацій вуглеводнів і О<sub>2</sub> для перевірки налаштувань газової апаратури за роботи на добавках біогазу до СПГ наведено в табл. 2 і 3.

Таблиця 2 – Вуглеводнів у відпрацьованих газах ДВЗ за роботи на суміші біогазу та СПГ

Table 2 – Hydrocarbons in exhaust gases of internal combustion engines for biogas and LNG mixtures

| Режим роботи<br>електростанції | Вуглеводні, млн <sup>-1</sup> |            |
|--------------------------------|-------------------------------|------------|
|                                | за гексаном                   | за метаном |
| холостий хід                   | до 2400                       | до 1500    |
| 50 % навантаження              | до 1800                       | до 1400    |
| номінальний режим              | до 2400                       | до 2000    |

Наведені в табл. 3 значення викидів NO<sub>x</sub> теж можна використовувати для контролю настройки газової апаратури, але для цього буде потрібно відповідний газоаналізатор для визначення концентрацій NO<sub>x</sub>. Наведені значення NO<sub>x</sub> підтверджують висновок авторів роботи [1], що зі збільшенням добавки СО<sub>2</sub> в модельному газі концентрація NO<sub>x</sub> у відпрацьованих газах зменшується.

### Висновки

Стендові дослідження газового двигуна на модельному газі підтвердили можливість застосування в поршневих ДВЗ з іскровим запалюванням біогазу з вмістом 60 % метану як добавки до природного газу. Зі зменшенням навантаження частка біогазу може збільшуватися і заміщати до 85 % природного газу.

Таблиця 3 – Концентрації  $O_2$  і  $NO_x$  у відпрацьованих газах ДВЗ за роботи на суміші біогазу та СПГ

Table 3 – Concentrations of  $O_2$  and  $NO_x$  in the exhaust gases of internal combustion engines when running on a mixture of biogas and LNG

| Режим роботи електростанції | $O_2$ , % | $NO_x$ , $млн^{-1}$ |
|-----------------------------|-----------|---------------------|
| холостий хід                | до 4,5    | до 15               |
| 50 % навантаження           | до 3,5    | до 450              |
| номінальний режим           | до 3,0    | до 1000             |

За роботи на суміші біогазу та СПГ визначено значення концентрацій вуглеводнів та залишкового кисню у відпрацьованих газах для контролю налаштувань газового обладнання ДВЗ в умовах експлуатації. Для електростанцій вибрано три режими перевірки: холостий хід, 50 % навантаження, номінальний режим. Відповідно алгоритм взаємозалежного регулювання повинен мати мінімум три лінійні ділянки.

Узагальнені результати дослідження застосування модельного газу в ДВЗ дозволяють продовжити роботи з удосконалення автоматичної системи подачі сумішевого газового палива. Результати досліджень газового ДВЗ 8Ч10/8,8 забезпечили перехід від кількісного до якісного регулювання паливної суміші природного газу з добавками біогазу.

Для сумішевого палива розроблено алгоритм взаємозалежного регулювання. Із зростанням навантаження частка біогазу зменшується, суміш збагачується природним газом. При навантаженні 75 % і більше збагачення паливної суміші відбувається інтенсивніше.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Клименко В.Н., Мазур А.И., Сабашук П.П. Когенерационные системы с тепловыми двигателями. Справочное пособие. Часть 1. Общие вопросы когенерационных технологий – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины. – 2008. – 559 с.
2. Разуваев А. В. Целесообразность применения систем утилизации тепла ДВС // Турбины и дизели. – 2010. – №. 1. – С. 48-50.
3. Вербовський В.С., Грицук І.В., Адров Д.С., Краснокутська З.І. Особливості предпускового прогріву стаціонарного газового двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2014. – №2. – С. 85 – 90.
4. Девянин С.Н., Чумаков В.Л., Марков В.А. Биогaz – альтернативное топливо для дизелей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 2(26). – С. 68 – 73.
5. Долганов К.С. Система живлення для переобладнання дизеля в газовий двигун / К.С. Долганов, А.А. Лісовал, О.І. П'ятничко, Ю.П. Майфет. // Вісник НТУ-ТАУ. – 2002. – Вип. №7. – С. 295 – 299.
6. Врублевский А.Н., Дзюбенко А.А., Липинский, Кузьменко А.П., Подляшук С.О. Определение цикловой подачи газового топлива с электронным управлением топливоподачи // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2014. – №2. – С. 33 – 37.
7. Марченко А.П., Осетров О.О., Кравченко С.С. Забезпечення номінальної потужності стаціонарного газового двигуна при використанні низькокалорійних газових палив // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2015. – №1. – С. 15 – 33.
8. Тимошевский Б.Г., Ткач М.Р., Познанский А.С., Митрофанов А.С., Проскурин А.Ю. Характеристики процесса сгорания двигателя 2Ч7,2/6 с добавками до 65 % синтез-газа к бензину // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2015. – №1. – С. 33 – 37.
9. Ткач М.Р., Тимошевський Б.Г., Митрофанов О.С., Познанський А.С., Проскурін А.Ю. Підвищення ефективності ДВЗ малотоннажних суден застосуванням добавок синтез-газу // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2018. – №2. – С. 3 – 6. DOI: 10.20998/0419-8719.2018.2.01.
10. Бганцев В.М., Левтеров А.М., Гладкова Н.Ю. Розрахункове визначення впливу складу біогазу на характеристики транспортного двигуна // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2018. – №1. – С. 7 – 14. DOI: 10.20998/0419-8719.2018.1.02.

## REFERENCES

1. Klimenko V.N., Mazur A.I., Sabashuk P.P. (2008), "Kogeneratsionnyye sistemy s teplovymi dvigatelyami. Spravochnoye posobiye. Chast' 1. Obshchiye voprosy kogeneratsionnykh tekhnologiy", "IPTS ALKON NAN Ukrainy", Kiev, 559 p. [in Russian]
2. Razuvaev A.V. (2010), "Tselesoobraznost' primeneniya sistem utilizatsii tepla DVS", Turbines and diesel engines. No.1, pp.48-50. [in Russian]
3. Verbovskiy V.S., Gritsuk I.V., Adrov D.S., Krasnokutska Z.I. (2014), "Osoblyvosti predpuskovogo prohrivu statsionarnoho hazovoho dvyhuna z vykorystanniam teplovoho akumul'yatora z fazovym perekhodom", Internal combustion engines. No.2, pp.85-90. [in Ukrainian]
4. Devyanin S.N., Chumakov V.L., Markov V.A. (2012), "Biogaz – al'ternativnoye toplivo dlya dizeley", Transport on alternative fuel. No.2(26), pp.68-73. [in Russian]
5. Dolganov K.Ye., Lisoval A.A., Pyatnychko O.I., Mayfet Yu.P. (2002), "Systema zhyvlennya dlya pereobladnannya dyzelya v hazovyy dvyhun", Bulletin of NTU-TAU. Vol. 7, pp.295-299. [in Ukrainian]
6. Vrublevsky A.N., Dzyubenko A.A., Lipinsky M.S., Kuzmenko A.P., Podlyashchuk S.O. (2014), "Osoblyvosti predpuskovogo prohrivu statsionarnoho hazovoho dvyhuna z vykorystanniam teplovoho akumul'yatora z fazovym perekhodom", Internal combustion engines. No.2, pp.33-37. [in Ukrainian]
7. Marchenko A.P., Osetrov O.O., Kravchenko S.S. (2015), "Zabezpechennya nominal'noyi potuzhnosti statsionarnoho hazovoho dvyhuna pry vykorystanni nyz'kokaloriynykh hazovykh palyv", Internal combustion engines. No.1, pp.15-33. [in Ukrainian]
8. Timoshevsky B.G., Tkach M.R., Poznansky A.S., Mitrofanov A.S., Proskurin A.Yu. (2015), "Characteristics of the combustion process of a 2CH7.2/6 engine with additives up to 65 % synthesis gas to gasoline", ["Kharakteristiki protsessa sgoraniya dvigatelya 2CH7.2/6 s dobavkami do 65 % sintez-gaza k benzynu"], Internal combustion engines. No.1, pp.33-37. [in Russian]
9. Tkach M.R., Timoshevsky B.G., Mitrofanov A.S., Poznansky A.S., Proskurin A.Yu. (2018), "Pidvyshchennya efektyvnosti DVZ malotonnazhnykh suden zastosuvanniam dobavok syntez-hazu", Internal combustion engines. No.2, pp.3-6. DOI: 10.20998/0419-87192018.2.01. [in Ukrainian]
10. Bgantsev VM., Levterov A.M., Gladkova N.Yu. (2018), "Rozrakhunkove vyznachennya vplyvu skladu biohazu na kharakterystyky transportnoho dvyhuna", Internal combustion engines. No.1, pp.7-14. DOI: 10.20998/0419-87192018.1.02. [in Ukrainian]

## РЕФЕРАТ

Лісовал А.А. Взаємозалежне регулювання двох газових палив для збереження номінальної потужності електростанції / А.А. Лісовал // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Виконано аналіз наукових робіт у напрямі створення в Україні газових ДВЗ, які працюють на природному газі, біогазі або подібних низькокалорійних паливах. Мета роботи – узагальнити результати проведених досліджень із застосуванням модельного газу в газовому ДВЗ, що працює на привід електростанції, і розробити алгоритм системи взаємозалежного регулювання подачею суміші біогазу і природного газу в ДВЗ без втрат номінальної потужності електростанції. Експериментальні дослідження провели за допомогою модельного газу – суміш природного і вуглекислого газів. У статті наведені рекомендації з налаштування системи живлення і автоматичного регулювання газового двигуна, що працює на суміші природного газу (метану) і біогазу. Для вирішення поставлених завдань були проведені дослідження на газоелектричній установці з номінальною потужністю 30 кВт. Спочатку установка була оснащена 8-ми циліндровим бензиновим двигуном з іскровим запалюванням і електрогенератором. Базовий ДВЗ був конвертований в суто газовий зі ступенем стиснення 8,5. Для фізичного моделювання добавок біогазу до природного газу в модельному газі збільшували об'ємну частку вуглекислого газу до 30 % в залежності від зовнішнього навантаження. Розрахунковим шляхом визначили аналогічне співвідношення стисненого природного газу (СПГ) і добавки біогазу. Для розрахунку прийняли, що в СПГ міститься 90 ... 95 % метану, а в біогазі 60 % метану і 40 % вуглекислого газу. Підтверджено можливість застосування в поршневих ДВЗ з іскровим запалюванням біогазу з вмістом 60 % метану як добавки до природного газу. Встановлено, що зі зменшенням навантаження частка біогазу може збільшуватися і замінювати до 85 % природного газу. За роботи на добавках біогазу визначені значення концентрацій вуглеводнів та залишкового кисню у відпрацьованих газах для контролю настройки газового обладнання ДВЗ. В

умовах експлуатації для електростанції вибрано три режими перевірки: холостий хід, 50 % навантаження, номінальний режим. Для сумішевого палива розроблено алгоритм взаємозалежного регулювання.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, ГАЗОВИЙ ПОРШНЕВИЙ ДВИГУН, МЕТАН, БІОГАЗ, РЕГУЛЮВАННЯ СКЛАДУ ГАЗОВОГО ПАЛИВА.

### **ABSTRACT**

Lisoval A.A. Interdependent regulation of two gas fuels to maintain the nominal power plant. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article analyses the scientific works of recent years in the field of development of gas internal combustion engines in Ukraine, which run on natural gas, biogas or low-calorific fuels. The aim of the study is to summarise the results of research conducted using model gas in a gas internal combustion engine (ICE) used to drive a power plant and to develop an algorithm for an interdependent control system for the supply of biogas and natural gas to the ICE without losing the rated power of the power plant. Experimental studies were conducted using a model gas – a mixture of natural and carbon dioxide. The article provides recommendations on setting up the power system and automatic regulation of a gas engine running on a mixture of natural gas (methane) and biogas. To solve the tasks, a gas-electric installation with a rated power of 30 kW was tested. Initially, the installation was equipped with an 8-cylinder gasoline engine with spark ignition and an electric generator. The base ICE was converted to purely gas with a compression ratio of 8.5. In the physical modeling of biogas to natural gas additives in the model gas, the volume fraction of carbon dioxide increased to 30 % with a decrease in the load. By calculation, we determined a similar ratio of compressed natural gas and biogas additives. For the calculation, it assumed that natural gas contains 90...95 % methane, and biogas 60 % methane and 40% carbon dioxide. The possibility of using biogas with 60 % methane as an additive to natural gas in piston ICEs with spark ignition has been confirmed. It was found that with a decrease in load, the biogas fraction increase and replace up to 85 % of natural gas. When working on biogas additives, the values of the concentrations of hydrocarbons and residual oxygen in the exhaust gases were determined to control the setting of the gas equipment of the internal combustion engine. Under operating conditions, three test modes selected for the power plant: idle, 50 % load, rated mode. An interdependent control algorithm has been developed for mixed fuels.

**KEY WORDS:** INTERNAL COMBUSTION ENGINE, GAS PISTON ENGINE, METHANE, BIOGAS, GAS COMPOSITION REGULATION.

### **АВТОРИ:**

Лісовал Анатолій Анатолійович, доктор техн. наук, професор, професор кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к. 303а, e-mail: li-dvz@bigmir.net. tel. +380442804716, [https:// orcid.org /0000-0001-6168-4010](https://orcid.org/0000-0001-6168-4010)

### **AUTHOR:**

Lisoval Anatolii A., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor of the Department of engines and heat engineering, e-mail: li-dvz@bigmir.net, tel. +380442804716, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omeliyanovicha-Pavlenko St. 1, of. 303a, [https:// orcid.org /0000-0001-6168-4010](https://orcid.org/0000-0001-6168-4010)

### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Клименко Олексій Андрійович, доктор технічних наук, заступник директора з наукової роботи, ДП «ДержтрансНДІпроект», Київ, Україна.

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

### **REVIEWER:**

Klymenko Olexsiy A., Doctor of Technical Science, Deputy Director for scientific work, SE "DerzhtransNDIproekt, Kyiv, Ukraine.

Sakhno Volodymyr P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Automobile department, Kyiv, Ukraine.