

В.М. Бганцев, А.М. Левтеров, Н.Ю. Гладкова

РОЗРАХУНКОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ БІОГАЗУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ДВИГУНА

Біогаз, що виробляється на полігонах твердих побутових відходів або з відходів тваринництва, відрізняється коливаннями вмісту в ньому основних компонентів – метану та діоксиду вуглецю. Через це виникають проблеми використання такого біогазу в якості палива для ДВЗ. Подолання означених проблем досягається шляхом трудомісткого експериментального прилаштування двигуна до такого палива, або шляхом попереднього розрахункового дослідження показників двигуна з подальшою оптимізацією його функціонування за обраним критерієм. Розрахункове дослідження зазвичай виконується з використанням математичних моделей та комп'ютерної техніки, що дозволяє суттєво скоротити витрати коштів та часу на експеримент. В роботі розрахунковим шляхом з використанням двозонної математичної моделі процесів робочого циклу ДВЗ та розрахованих теплофізичних властивостей біогазу досліджено характеристики двигуна, що працював на біогазі широкого спектру складів, та на різних режимах навантаження. За результатами досліджень сформульовано умови ефективної роботи ДВЗ на біогазі змінного складу та показано, що при цьому покращуються показники токсичності двигуна, значно зменшується теплове навантаження на деталі циліндропоршневої групи за незначного погіршення показників економічності.

Вступ

Одним з ефективних шляхів зниження шкідливого впливу відпрацьованих газів (ВГ) ДВЗ на навколишнє середовище та зменшення споживання рідкого вуглеводневого палива є використання газоподібних палив, таких як стиснутого природного газу (СПГ) і зрідженого нафтового газу (СНГ). Ці види палив вже достатньо широко використовуються на автотранспорті, в зв'язку з цим для них розроблене уніфіковане газове обладнання, що легко пристосовується для різних типів ДВЗ. Крім зростання обсягів використання для ДВЗ таких палив зростає інтерес до відносно дешевого газоподібного палива, що одержується шляхом переробки твердих побутових відходів та відходів тваринництва. Це так званий біогаз, що складається в основному з метану. Спалюючи біогаз в ДВЗ, можливо практично повністю забезпечити енергією та паливом невеликі виробничі комплекси, де той самий біогаз виробляється.

Склад біогазу в процесі його вироблення може коливатися, через що змінюються показники роботи ДВЗ, що працюють на ньому. Тому актуальним є прогноз ефективності роботи ДВЗ в цих умовах, який можна виконати шляхом розрахунків економічних та токсичних показників ДВЗ з використанням математичного моделювання. Це значно зменшує витрати на проведення експериментальних досліджень і надає можливість створення ефективних систем регулювання подачі біогазу в ДВЗ в умовах коливання складу палива.

Аналіз публікацій

При математичному моделюванні робочого циклу ДВЗ на біогазі в умовах коливання його складу постає необхідність наявності відомостей про теплофізичні властивості цього виду палива. Це, в першу чергу, стосується нижчої теплоти зго-

рання різних складів біогазу, від якої залежить більшість показників робочого циклу, особливо таких важливих, як потужність ДВЗ та питома витрата палива.

Коли йдеться про горіння певного виду палива, особливу складність являє вивчення відповідних показників хімічних реакцій, які, в переважній більшості, мають складну ланцюгову структуру.

Розрахунки хімічної кінетики згоряння вміщують кількість реакцій від десятків і сотень до кількох тисяч і, незважаючи на постійну увагу до цієї проблеми, залишається багато білих плям в кінетичних механізмах хімічних реакцій, зокрема недостатньо вивчені важкі вуглеводні, що є компонентами багатьох моторних палив, і це змушує вдаватися до емпіричних залежностей їх окислення [1, 2, 3]. Взагалі, кінетика високотемпературного окислення з задовільною точністю розроблена лише для обмеженого переліку речовин і детальний опис процесу їх згоряння в аналітичній формі викає великі труднощі.

Існує достатня кількість математичних моделей процесів робочих циклів в ДВЗ, в тому числі і розроблених або модифікованих у відділі поршневих енергоустановок ПМаш НАН України [4, 5]. Враховуючи особливості палива, що розглядається, було вирішено для математичного моделювання застосувати розрахункову модель процесів робочого циклу ДВЗ [4], яка будується на використанні рівняння першого закону термодинаміки і двозонного або багатозонного математичного моделювання процесу згоряння з урахуванням зниженої стехіометрії, дисоціації продуктів згоряння та емісії монооксиду азоту на основі кінетики хімічних реакцій. На сьогоднішній день модель значно удосконалена. Теплофізичні властивості для більшості

індивідуальних речовин представляються в поліноміальному вигляді в залежності від абсолютної температури [6].

Мета і постановка завдання

В зв'язку зі зростанням в Україні кількості об'єктів, де виробляється біогаз та можливістю використання енергетичних установок з ДВЗ, що його використовують в якості палива, з'явилася необхідність в аналізі ефективності цього виду палива з метою підвищення економічних та екологічних характеристик ДВЗ.

Як зазначено вище, біогаз в процесі одержання практично не має постійного складу, тому змінюються характеристики ДВЗ, що на ньому працюють.

Через це необхідна оцінка ефективності роботи ДВЗ в цих умовах з метою оптимізації його функціонування. Шлях математичного моделювання із застосуванням адекватної моделі є більш привабливим, ніж проведення великої кількості експериментальних досліджень.

Результати математичного моделювання робочого циклу ДВЗ при роботі на біогазі різного складу

Розроблена в ІПМаш НАН України методика прогнозування характеристик двигуна дозволяє зробити комплексний прогноз показників ДВЗ як функції коефіцієнта надлишку повітря (α), кута випередження запалювання (φ), числа обертів колінчастого валу двигуна (n), ступеня стиснення (ϵ), навантаження i , що особливо важливо при використанні біогазу, як функції складу його основних компонентів – метану (G_{CH_4}) та діоксиду вуглецю (G_{CO_2}). Маючи набір залежностей, можна, призначивши цільову функцію (наприклад, витрату палива або емісію шкідливих складових у відпрацьованих газах), провести її оптимізацію в залежності від регулювань двигуна.

Об'єктом досліджень є дизель Д21А, конвертований в газовий двигун, для якого досліджувалися варіанти можливого складу біогазу з вмістом метану і вуглецевого газу (CH_4 / CO_2) в процентному співвідношенні: 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60. Впливом вмісту в біогазі водню, сірководню, аміаку та оксидів азоту, з огляду на малу їх кількість, нехтуємо.

Адекватність застосованої математичної моделі перевірена шляхом порівняння основних ефективних показників двигуна, отриманих експериментально і розрахунковим шляхом для режиму номінальної потужності (паливо – метан, $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$, $\alpha = 1,0$, $\varphi = 25^\circ$ до ВМТ, $\epsilon = 9,5$). Розрахунок ефективних показників, за відомих індикаторних, виконувався за емпіричними залежностями відповідно

до типу двигуна і середньої швидкості руху поршня. Різниця при порівнянні результатів не перевищувала 10 %, що говорить на користь адекватності моделі.

Вплив керуючих дій на показники двигуна, що працює на біогазі, представлені у вигляді діаграм в координатах $X - Y$ (рис. 1–7). Графічний аналіз результатів чисельного експерименту в залежності від змінних параметрів дозволяє передбачити потенційну емісію NO , CO , CO_2 , економічні показники (g_i , G_i), потужнісний показник (p_i), показник якості процесу у середині циліндра (η_i), оцінити максимальні значення температури та тиску циклу як для режиму номінальної потужності ($n = 1800 \text{ хв}^{-1}$), так і для режиму максимального крутного моменту ($n = 1400 \text{ мин}^{-1}$), отримати додаткову інформацію для різних коефіцієнтів надлишку повітря ($\alpha = 1,0$; $\alpha = 1,1$) за зовнішніми швидкісними і навантажувальними характеристиками для всіх досліджуваних показників двигуна.

Режиму номінальної потужності відповідають більш високі економічні показники й більш високий рівень емісії монооксидів азоту та вуглецю, кількість яких зменшується із зростанням коефіцієнта надлишку повітря і ступеня стиснення (рис. 1–4). Шляхом зняття регулювальних характеристик було встановлено кут випередження запалювання $\varphi = 25$ град.п.к.в. до ВМТ, за якого на означеному вище конвертованому двигуні отримано прийнятне співвідношення показників його потужності, економічності та рівня емісії NO_x .

Збільшення вмісту CO_2 в паливній суміші викликає значне зменшення емісії монооксидів азоту та вуглецю і при цьому спостерігається менш значне зниження показників економічності. Максимальні значення показників циклу (p_{max} , T_{max}) для однакових співвідношень CH_4 / CO_2 практично не змінюються для обох режимів (рис. 3). Спостерігається незначне падіння максимального тиску за навантажувальною характеристикою зі збільшенням вмісту CO_2 (рис. 5). Взагалі збільшення вмісту в суміші CO_2 до 60 % дає падіння максимальної температури циклу на всіх наведених діаграмах на 200–400 К (рис. 3, 5, 6) і падіння тиску на режимах максимального крутного моменту та номінальної потужності на 0,5–1,0 МПа (рис. 3).

Годинна витрата теплоти двигуном (G_i) зростає як за зовнішньою швидкісною, так і за навантажувальною характеристикою і зменшується зі збільшенням коефіцієнта надлишку повітря та вмісту вуглецевого газу в паливній суміші (рис. 3, 5, 6).

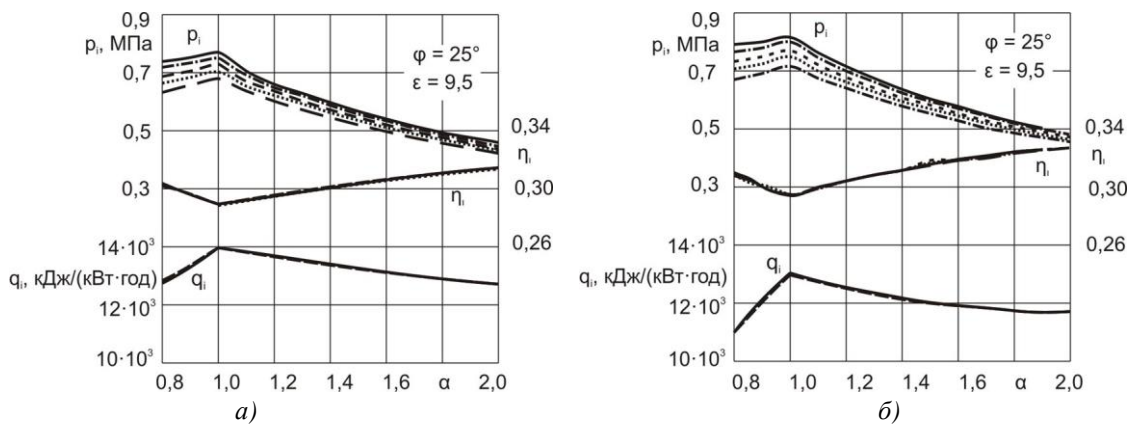


Рис. 1. Індикаторні показники циклу газового двигуна для різних складів біогазу в залежності від коефіцієнта надлишку повітря і режиму роботи двигуна:

а – режим максимального крутного моменту ($n = 1400 \text{ хв}^{-1}$);

б – режим номінальної потужності ($n = 1800 \text{ хв}^{-1}$).

Відсоткове співвідношення $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$ в біогазі:

— — — — 40/60; – 50/50; - . - . - . – 60/40; - - - - - – 80/20; ——— – 100/0

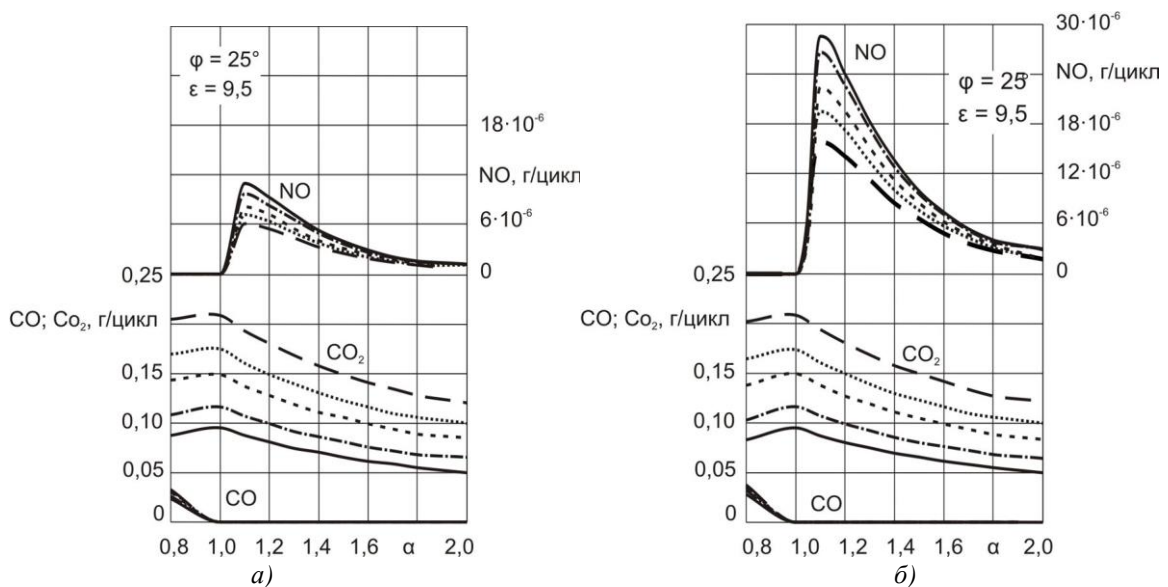


Рис. 2. Токсичність ВГ в залежності від коефіцієнта надлишку повітря, режими роботи двигуна і співвідношення $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$:

а – режим максимального крутного моменту ($n = 1400 \text{ хв}^{-1}$);

б – режим номінальної потужності ($n = 1800 \text{ хв}^{-1}$).

Відсоткове співвідношення $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$ в біогазі:

— — — — 40/60; – 50/50; - . - . - . – 60/40; - - - - - – 80/20; ——— – 100/0

Емісія токсичних складових у відпрацьованих газах (NO та CO) зростає зі збільшенням навантаження та частоти обертання колінчастого валу, досягаючи максимальних значень за рівнем емісії CO при $\alpha < 1,0$, за NO – при $\alpha = 1,1$. Є підстави стверджувати, що для $\alpha > 1,1$ ці показники будуть зменшуватися, про що свідчить рис. 2.

При розгляді показників двигуна як функції співвідношення $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$ були отримані розрахун-

кові залежності G_i , η_i , p_i та T_{\max} , p_{\max} для різних коефіцієнтів надлишку повітря ($\alpha = 1,0$; $\alpha = 1,2$) та двох режимів (номінальної потужності і максимального крутного моменту) (рис. 7), по яких можна оцінювати якість основних характеристик робочого циклу двигуна, що працює на біогазі з заданим вмістом двоокису вуглецю.

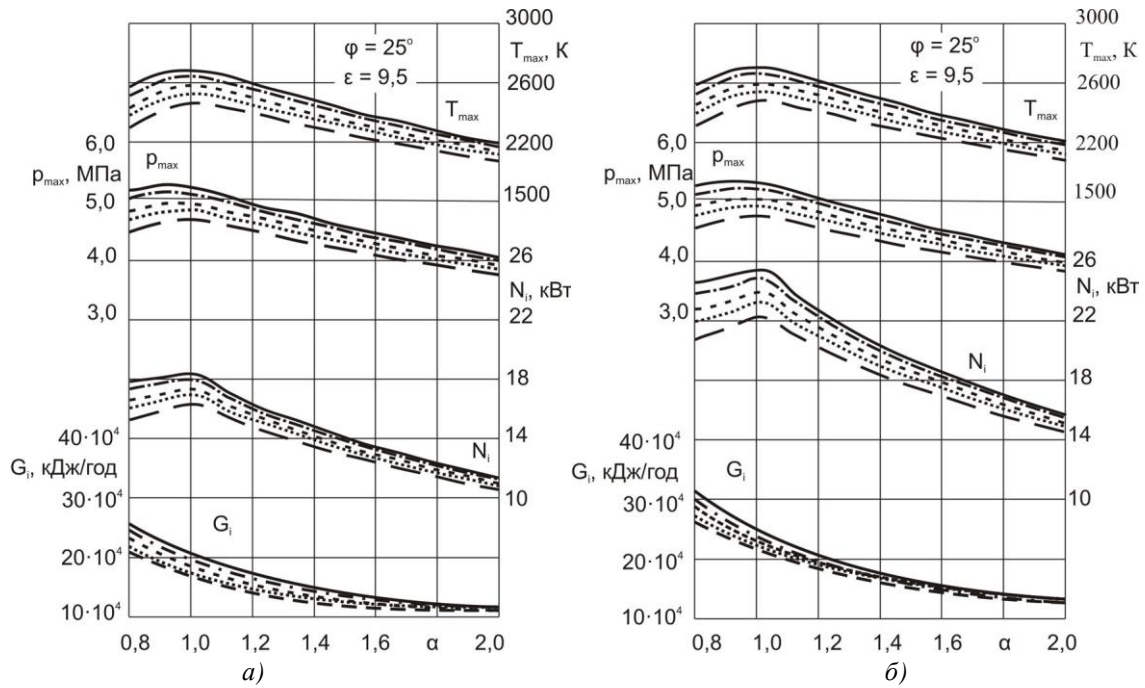


Рис. 3. Індикаторні показники в залежності від режиму роботи двигуна, коефіцієнта надлишку повітря і співвідношення $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$: а – режим максимального крутного моменту ($n = 1400 \text{ хв}^{-1}$); б – режим номінальної потужності ($n = 1800 \text{ хв}^{-1}$). Відсоткове співвідношення $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$ в біогазі: — — — 40/60; – 50/50; - - - - 60/40; - · - · - 80/20; ——— – 100/0

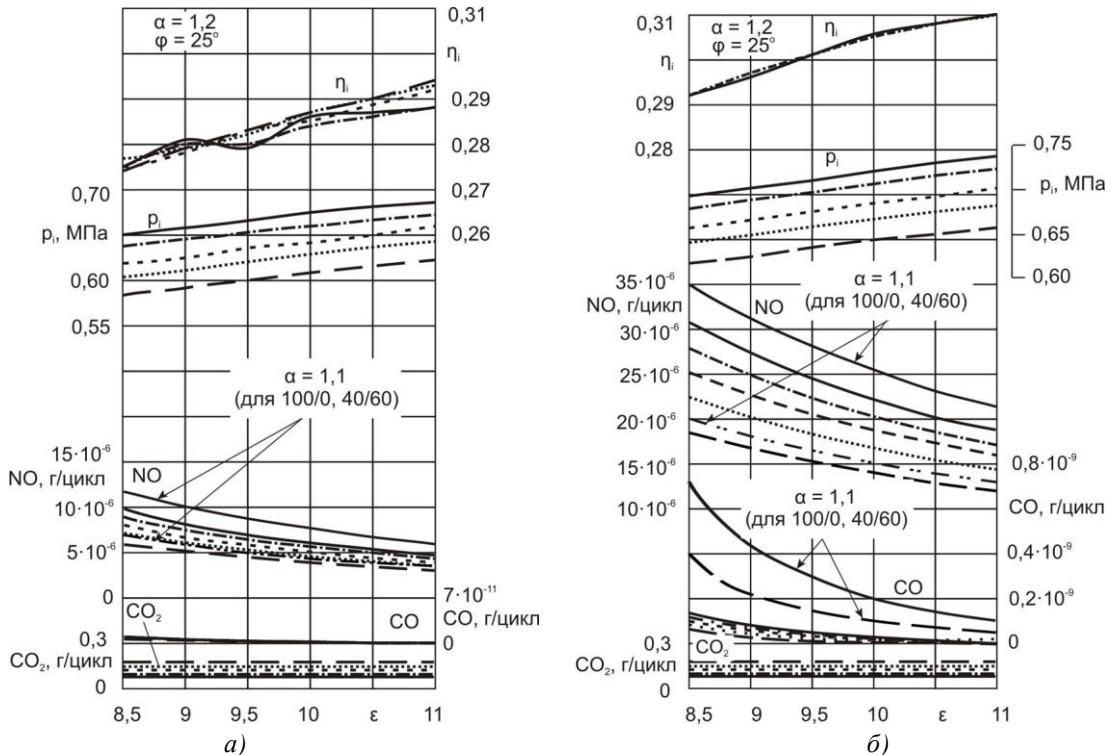


Рис. 4. Індикаторні показники і токсичність в залежності від режиму роботи двигуна, ступеня стиснення і співвідношення $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$: а – режим максимального крутного моменту ($n = 1400 \text{ хв}^{-1}$); б – режим номінальної потужності ($n = 1800 \text{ хв}^{-1}$). Відсоткове співвідношення $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$ в біогазі: — — — 40/60; – 50/50; - - - - 60/40; - · - · - 80/20; ——— – 100/0

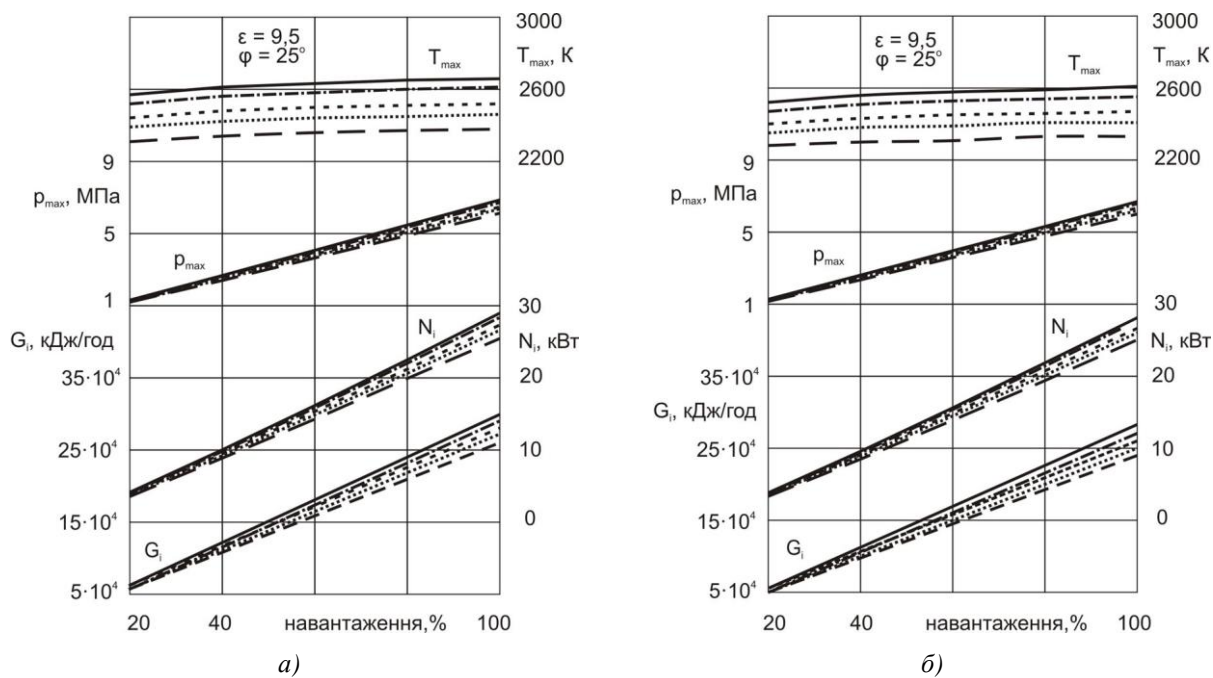


Рис. 5. Навантажувальні характеристики газового двигуна, що працює на біогазі різного складу, ($n = 1800 \text{ мин}^{-1}$):
 а – при $\alpha = 1,0$; б – при $\alpha = 1,1$.

Відсоткове співвідношення $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$ в біогазі:

--- 40/60; 50/50; -.-.- 60/40; -.-.-.- 80/20; ——— 100/0

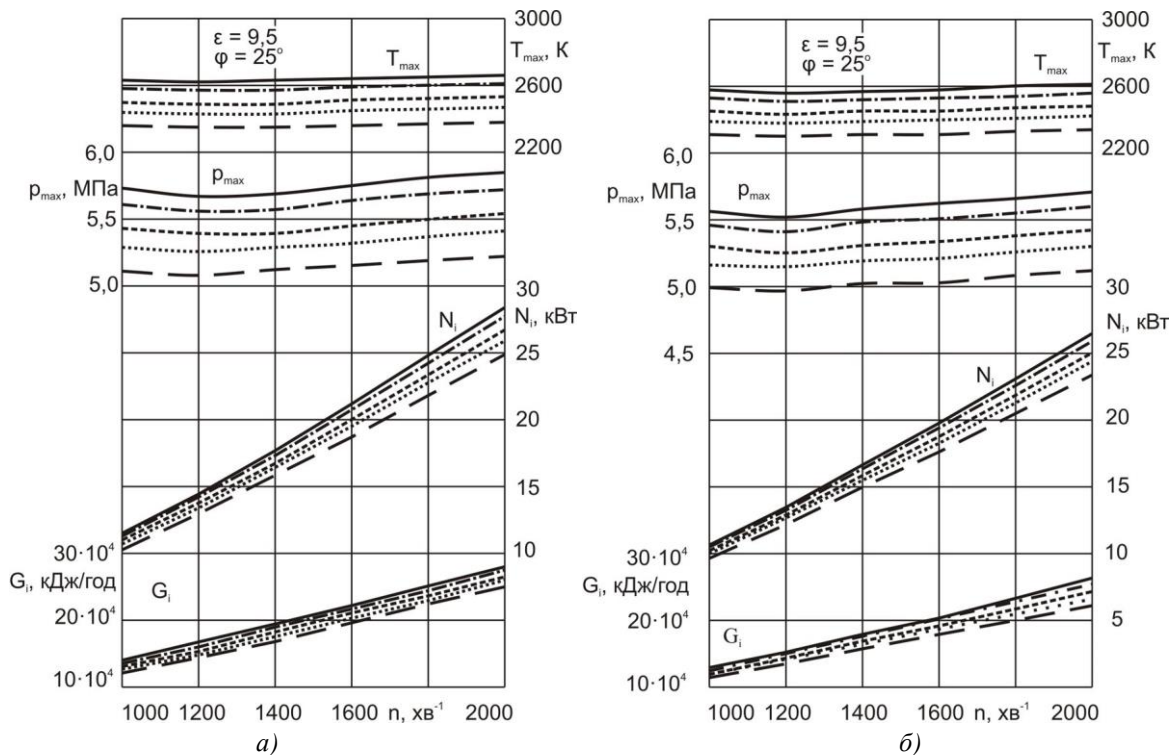


Рис. 6. Індикаторні показники газового двигуна, що працює на біогазі різного складу, за зовнішніми швидкісними характеристиками:

а – при $\alpha = 1,0$; б – при $\alpha = 1,1$.

Відсоткове співвідношення $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$ в біогазі:

--- 40/60; 50/50; -.-.- 60/40; -.-.-.- 80/20; ——— 100/0

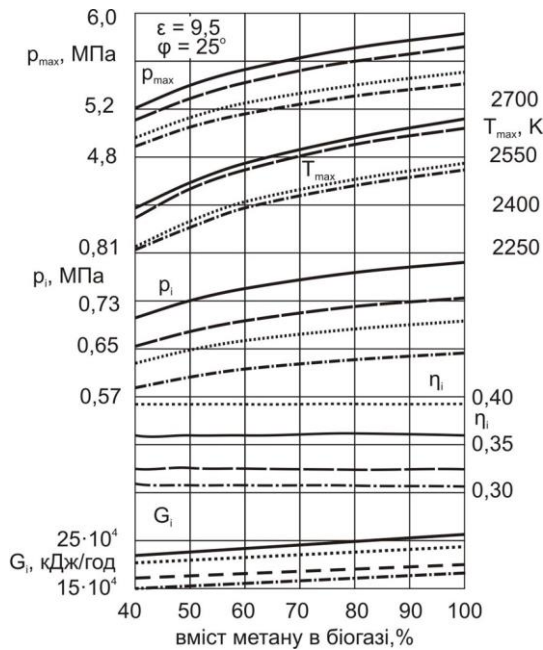


Рис. 7. Основные характеристики газового двигателя как функции коэффициента надлишка воздуха и процентного вмісту метану в біогазі та режиму роботи; — $\alpha = 1,0$ $\alpha = 1,2$ (режим номінальної потужності); - - - $\alpha = 1,0$; - · - · $\alpha = 1,2$ (режим максимального крутного моменту)

максимального крутного моменту) (рис. 7), по яких можна оцінювати якість основних характеристик робочого циклу двигуна, що працює на біогазі з заданим вмістом двоокису вуглецю.

Показники середнього індикаторного тиску (p_i), а отже, і індикаторної потужності, максимальних значень температури і тиску циклу, годинна витрата теплоти двигуном збільшуються зі зростанням вмісту метану в біогазі, при цьому індикаторний ККД для відповідних кривих практично не змінюється (зміни фіксуються в третьому знаку після коми).

Слід зазначити, що результати чисельного експерименту добре узгоджуються з результатами аналогічних досліджень, проведених іншими авторами з двома складами: метаном та біометаном з вмістом вуглецевого газу 30 % та різними коефіцієнтами надлишку повітря і ступенями стиснення [7].

Після серії стендових випробувань був зроблений додатковий розрахунок з параметрами, що відповідають вихідним параметрам експерименту.

Ефективні показники газового двигуна, що працює на біометані і на біогазі з співвідношенням $CH_4 / CO_2 - 100/0$ та $64/36$ відповідно, отримані розрахунком та з експерименту, наведені на рис. 8.

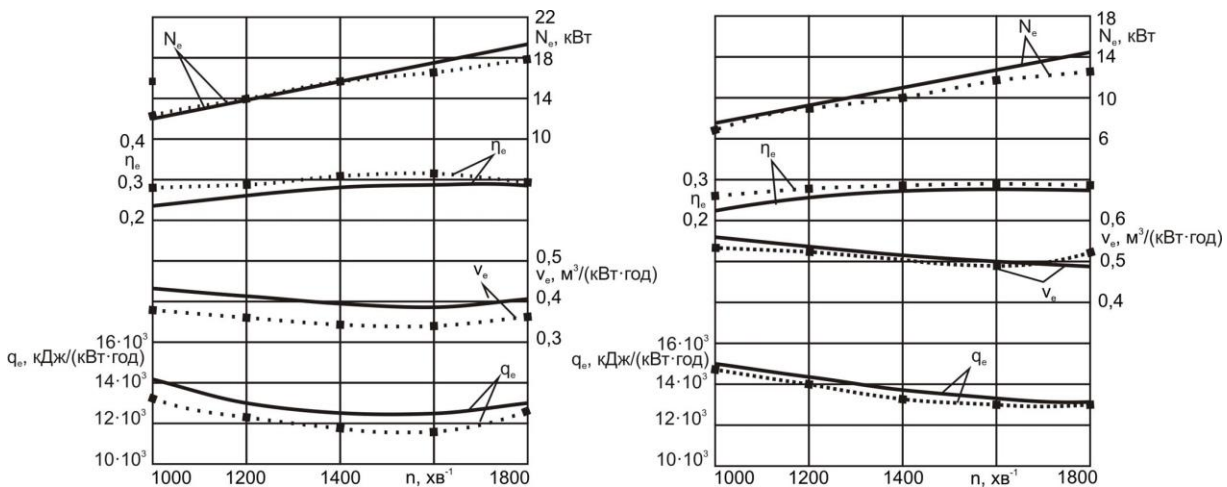


Рис. 8. Розрахункові та експериментальні ефективні показники газового двигуна: а – робота на біогазі з співвідношенням $CH_4 / CO_2 100/0$; б – $64/36$, відповідно — розрахунок; - - - експеримент

Висновки

Газовий ДВЗ в основному отримують шляхом конвертації дизельних двигунів, які облаштовуються відповідною системою живлення. Ефективність такого конвертування можна оцінити за допомогою попереднього математичного моделювання робочого циклу газового ДВЗ. Прикладом цього є результати, наведені в даній статті.

Чисельний експеримент з прогнозування характеристик двигуна, що працює на біогазі з різним співвідношенням CH_4 / CO_2 , дозволив зробити швидкий, з достатньою точністю, попередній аналіз індикаторних показників ДВЗ з іскровим запалюванням.

Завдяки результатам прогнозу показників двигуна в широкому діапазоні зміни режимних параметрів з'явилася можливість скоротити стендові

випробування як за варіантами складу біогазу, кута випередження запалювання, коефіцієнта надлишку повітря так і за часом проведення випробувань, оскільки застосована стратегія розрахунку показників двигуна в залежності від чинників що на нього впливають, зводить стендові випробування до мінімуму.

Крім того, підтверджується висновок на користь використання біогазу в якості моторного палива для стаціонарних і транспортних енергоустановок. Позитивним ефектом при цьому є поліпшення характеристики токсичності при незначному зниженні економічних показників двигуна, зменшення теплового навантаження на деталі циліндропоршневої групи (T_{\max} зменшується на 200 – 400 К, що сприяє збільшенню їх моторесурсу) та зменшення впливу на баланс вуглецевого газу в навколишньому середовищі.

Список литературы:

1. Barths H. 3d Simulation of Di Diesel Combustion and Pollutant Formation Using a Two-Component Reference Fuel / H. Barths, H. Pitsch, N. Peters // *Oil & Gas Science and Technology Rev. IFP.* – 1999. – Vol. 54, № 2. – P. 233-244. 2. Басевич В. Я. Моделирование диффузионного горения моторных топлив / А. В. Евлампиев, С. М. Фролов, В. Я. Басевич, А. А. Беляев // *Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС: Материалы VIII междунар. научно-практической конф.* – Владимир, Изд-во ВлГУ, 2001. – С. 34-38. 3. Kyne A. G. Combustion of Kerosene in Counterflow Diffusion Flames / P. M. Patterson; A. G. Kyne // *Journal of Propulsion and Power.* – 2000. – Vol. 16, №. 2. – P. 453-460. 4. Куценко А. С. Моделирование рабочих процессов дви-

гателей внутреннего сгорания на ЭВМ / А. С. Куценко, В. И. Товажнянский, С. В. Коваленко // *Киев: Наук. думка, 1988.* – 98 с. 5. Kuder J. Parameteroptimierung an Ottomotoren mit Direkteinspritzung / J. Kuder, T. Kruse // *MTZ.* 2000. – Vol. 61, №. 6. – P. 378-384. 6. Avramenko A. N. Methodology for Estimation of Heat-Stressed State for Cylinder Head of Diesel Engine with Air Cooling // *Science & Technique.* – 2016. – №15 (5). – P. 420-426. 7. Бейлин В. И. Теоретический цикл поршневого двигателя на биометане / В. И. Бейлин, В. А. Лурье // *Двигателестроение.* – 1996. – № 2. – С. 63-66.

Bibliography (transliterated):

1. Barths, H., Pitsch, H., Peters, N. (1999), "3d Simulation of Di Diesel Combustion and Pollutant Formation Using a Two-Component Reference Fuel", *Oil & Gas Science and Technology Rev. IFP.*, Vol. 54, No 2, pp. 233-244. 2. Evlampiev, A. V., Frolov, S. M., Basevich, V. Ya., Belyaev, A. A. (2001), "Modeling of diffusion combustion of motor fuels", *Improving of power, economical and ecological indexes of internal combustion engines: Materials of the VIII International Scientific and Practical Conf. I "Modelirovanie diffuzionnogo goreniya motornyh topliv"*, *Sovershenstvovanie moshnostnyh, ekonomicheskikh i ekologicheskikh pokazatelej DVS: Materialy VIII mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konf.*, VIGU, Vladimir, pp. 34-38. 3. Kyne, A. G., Patterson, P. M. (2000), "Combustion of Kerosene in Counterflow Diffusion Flames", *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 16, No 2, pp. 453-460. 4. Kucenko, A. S., Tovazhnyanskiy, V. I., Kovalenko, S. V. (1988), "Modeling of work processes of internal combustion engines on a computer" [*Modelirovanie rabochih processov dvigatelej vnutrennego sgoraniya na EVM*], *Nauk. dumka*, Kiev, 98 p. 5. Kuder, J., Kruse, T. (2000), "Parameteroptimierung an Ottomotoren mit Direkteinspritzung", *MTZ*, Vol 61, No 6, 378-384. 6. Avramenko A. N. (2016), "Methodology for Estimation of Heat-Stressed State for Cylinder Head of Diesel Engine with Air Cooling", *Science & Technique*, No 15 (5), pp. 420-426. 7. Bejlin, V. I., Lure, V. A. (1996), "Theoretical cycle of the piston engine on biomethane", *Engines construction [Theoretical cycle of the piston engine on biomethane, Dvigatellestroenie]*, No 2, pp. 63-66.

Надійшла до редакції 24.06.2018 р

Бганцев Валерій Микитович – канд. тех. наук, ст. наук. співр., ІПМаш ім. А.Н. Підгорного НАН України, Харків, Україна, e-mail: dppr@ipmach.kharkov.ua, (057) 349-47-54.

Левтеров Антон Михайлович – канд. тех. наук, ст. наук. співр., ІПМаш ім. А.Н. Підгорного НАН України, Харків, Україна, e-mail: dppr@ipmach.kharkov.ua (057) 349-47-02.

Гладкова Наталія Юрївна – інж., ІПМаш ім. А.Н. Підгорного НАН України, Харків, Україна, e-mail: dppr@ipmach.kharkov.ua (057) 349-47-38.

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА БИОГАЗА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В.Н. Бганцев, А.М. Левтеров, Н.Ю. Гладкова

Биогаз, вырабатываемый на полигонах твердых бытовых отходов или из отходов животноводства, отличается колебаниями содержания в нем основных компонентов – метана и диоксида углерода. Из-за этого возникают проблемы использования такого биогаза в качестве топлива для ДВС. Преодоление указанных проблем достигается путем трудоемкого экспериментального приспособления двигателя к такому топливу, или путем предварительного расчетного исследования показателей двигателя с последующей оптимизацией его функционирования по выбранному критерию. Расчетное исследование обычно выполняется с использованием математических моделей и компьютерной техники, позволяющее существенно сократить затраты средств и времени на эксперимент. В работе расчетным путем с использованием двухзонной математической модели процессов рабочего цикла ДВС и рассчитанных теплофизических свойств биогаза исследованы характеристики двигателя, работающего на биогазе широкого спектра составов и на разных режимах нагрузки. По результатам исследований сформулированы условия эффективной работы ДВС на биогазе переменного состава и показано, что при этом улучшаются показатели токсичности двигателя, значительно снижается тепловая нагрузка на детали цилиндропоршневой группы при незначительном ухудшении показателей экономичности.

CALCULATION OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF THE BIOGAS ON THE CHARACTERISTICS OF THE VEHICLE ENGINE

V.N. Bgantsev, A.M. Levterov, N.Y. Hladkova

Decrease the consumption of mineral fuels in ICE is considered one of the important goals of reducing the harmful influence of this energy source on the environment. Within this plan, one of the most effective fuels type is biogas obtained from the processing of municipal solid waste and livestock waste. Biogas basically includes methane and carbon dioxide with a wide range of their ratio. The composition of biogas, in relation to the special features of obtaining it, can change, which leads to a change of indicators of the ICE. In connection with, the forecast of these indicators is actual, which is necessary for the development of effective systems for regulating the supply of biogas in the internal combustion engines. This forecast can be executed with the help of mathematical modeling of the working cycle of ICE with using adequate mathematical models. In this research used improved mathematical model of the working cycle of internal combustion engine developed in the department of piston power plant A. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine.

The subject of the research is diesel engine D21A, converted to a gas engine, for which the investigations of possible options biogas composition were carried out with methane and carbon dioxide content in percentage terms: 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60. Influence of the content in biogas of hydrogen, hydrogen sulfide, ammonia and nitrogen oxides in view of their smallness is neglected. The sufficiency of the mathematical model is verified by comparing the effective engine indicators obtained experimentally and by means of a calculation for the rated power mode of 18.5 kW (fuel-methane, $n = 1800 \text{ min}^{-1}$, $\alpha = 1$, $\varphi = 25^\circ$, $\varepsilon = 9.5$). The difference in the comparison of the results didn't be less than 10 %, which proves the fidelity of the model.

The influence of control actions on the parameters of an engine working on biogas is presented in the diagrams in X–Y coordinates. Graphical analysis of the results numerical experiment, depending on the changing parameter allows to predict the potential emission of NO, CO, CO₂, economic indicators (g_i , G_i), capacity indicator (p_i), the process quality index of the process inside the cylinder (η_i), to estimate the maximum values of temperature and pressure of the cycle as for the rated power mode ($n = 1800 \text{ min}^{-1}$) and for the maximum torque capacity ($n = 1400 \text{ min}^{-1}$), and retrieve additional info for different excess air ratio ($\alpha = 1.0$, $\alpha = 1.1$) by external velocity performance and load characteristics for all test parameters of the engine.

A numerical experiment based on predict the characteristics of an engine running on biogas with a different ratio of CH₄ / CO₂ made it possible to make a quick, with sufficient accuracy, preliminary analysis indicator indexes of ICE with spark ignition. Inference should be drawn that the use of biogas as a motor fuel for stationary and transport power plants shows positive results, videlicet: improves index toxicity at a significant decrease in the economic index of the engine, decreases the thermal load on the parts of the cylinder-piston group, which contributes to the increase in their motor mileage allowance, the carbon dioxide balance in the environment is observed.

The results of mathematical modeling can be useful in optimizing the working cycles of ICE, which are transferred to work with natural gas and biogas. They are also necessary in the development of such complex structures as automatic control systems for the supply of gaseous fuels in the internal combustion engine with the instability of its component composition and the resulting heat of combustion.

УДК. 621.43

А. Н. Авраменко

DOI: 10.20998/0419-8719.2018.1.03

СРАВНИТЕЛЬНАЯ РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ТЕПЛОВОЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Проведен обзор современных способов организации рабочего процесса дизельных двигателей и методик моделирования показателей ДВС. Использование современных способов организации рабочего цикла позволяет улучшить показатели топливной экономичности ДВС и снизить уровень токсичности отработавших газов. В работе рассмотрены результаты сравнительного численного моделирования рабочего цикла тепловозного дизельного двигателя 16 ЧН 26/27 при работе на характерных эксплуатационных режимах (режим холостого хода, 30% от режима номинальной мощности и номинальном режиме). С использованием численных методов рассмотрены расчетные варианты в штатном исполнении (при работе двигателя по циклу Дизеля) и модернизированном (НССИ двигатель). Использование численных методов для исследования рабочих процессов ДВС позволяет получить информацию о локальных и осреднённых характеристиках рабочего цикла и их изменении по углу поворота коленчатого вала. В работе показано, что у НССИ двигателя отмечается снижение уровня выбросов оксидов азота, в среднем на 15-20 %, массового выброса сажи (твердых частиц) в среднем на 18 - 22 %, что достигнуто путем гомогенизации топливовоздушной смеси, снижения максимальных локальных температур пламени и увеличения полноты сгорания топлива.

Введение

Повышение требований к топливной экономичности и токсичности отработавших газов современных ДВС приводит к необходимости использо-

вания новых подходов к организации рабочих процессов, использования альтернативных видов топлива и систем нейтрализации отработавших газов [1-8].