

Bibliography (transliterated):

1. Putincev S.V. *Mechanicheskie poteri v porshnevnykh dvigatel'nykh special'nye glavy konstruirovaniya, rascheta, ispytaniy: uchebnoe posobie / S.V. Putincev.* – M., MG TU im. N. Bauman, 2011. – 288 s.
 2. Grudskij Ju.G. *Sistemy upravleniya dizel'nykh dvigatel'nykh nemeckogo. Ju.G. Grudskij, A.G. Ivanov.* – Pervoe russkoe izdanie. – M.: ZAO «KZHI «Za rulem», 2004. – 480 s. 3. Grehov L.V. *Toplivnaya apparatura i sistemy upravleniya dizelej: uchebnik dlja vuzov / L.V. Grehov, N.A. Ivashhenko, V.A. Markov.* – M.: Izd-vo Legion-Avtodata, 2004. – 344 s. 4. Vrublevskij A.N. *Jenergeticheskie zatraty na privod TNVD dizelja s akumuljatornoj toplivnoj sistemoj / A.N. Vrublevskij, A.A. Prohorenko, I.G. Pozhidaev, D.V. Meshkov, A.I. Timchenko // Avtomobil'nyj transport, 2012. – № 30. – S. 90-95.* 5. Gabitov I.I. *Tehnicheskoe obsluzhivanie i diagnostika toplivnoj ap-*

paratury avtotraktornykh dizelej / I.I. Gabitov, L.V. Grehov, A.V. Negovora. – M.: Izd-vo Legion-Avtodata, 2008. – 248 s. 6. Pozhidaev I.G. *Proektuvannja PNVT dlja akumuljatornoj palivnoj sistemi malolitrzhnogo dizelja na bazi palivnogo nasosa dviguna 2DT / I.G. Pozhidaev, A.O. Prohorenko // Visnik NTU «HPI». Serija: Transportne mashinobuduvannja, 2014. – № 14 (1057). – S. 89-95.* 7. Prohorenko A.A. *Differencial'noe uravnenie dinamiki dizelja s akumuljatornoj sistemoj toplivopodachi kak ob'ekta regulirovaniya / Dvigateli vnutrennego sgoraniya, №2. – 2011 – S. 81-86.* 8. Krutov V.I. *Avtomaticheskoe regulirovanie i upravlenie dvigatelej vnutrennego sgoraniya / V.I. Krutov – M.: Mashinostroenie, 1989. – 416 s.* 9. Vygodskij M.Ja. *Spravochnik po vysshej matematike.* – M.: Izd-vo «Nauka», 1973. – 872 s.

Поступила в редакцию 11.06.2014

Прохоренко Андрей Алексеевич – доктор техн. наук, старший научный сотрудник кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: ap.kpi@rambler.ru.

Пожидаев Иван Геннадиевич – аспирант кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: vanurash@rambler.ru.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ ПНВТ АКУМУЛЯТОРНОЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЯ

A.O. Prohorenko, I.G. Pozhidaev

Представлено математичну модель ПНВТ з керованою подачею для акумуляторної паливної системи на базі паливного насоса дизеля 2ДТ. Опубліковані деякі дані, отримані за допомогою розробленої математичної моделі. Наведені результати розрахунково-експериментального визначення величини дисипативного коефіцієнта.

MATHEMATICAL MODELING AND SETTLEMENT-EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE MECHANISM OF REGULATION OF FUEL DELIVERY IN COMMON RAIL SYSTEM OF DIESEL ENGINE

A.A. Prokhorenko, I.G. Pozhidaev

A mathematical model of the controlled injection pump of fuel supply for Common Rail system based on diesel fuel pump 2DT is presented. Some published data were obtained using the developed mathematical model. The results of computational and experimental determination of the values of the dissipative coefficient are shown.

УДК 621.433.2

А.А. Лисовал, М.Е. Нижник, Ю.А. Свистун

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ТОПЛИВАХ С РАЗНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

В статье описаны особенности и результаты экспериментальных исследований при физическом моделировании альтернативных газовых топлив. Выполнено индексирование двигателя при добавке к метану углекислого газа. Доля замещения метана углекислым газом составляла 8...30 % в зависимости от нагрузки. При таких значениях замещения достигли устойчивой работы двигателя 8Ч10/8,8 на привод электрического генератора.

Введение

Вопросы энергоэффективности, ресурсосбережения путём замещения и уменьшения потребления нефтяных топлив являются актуальными для всех отраслей и, в частности, для энергетического сектора, где увеличивается наличие мобильных и стационарных электростанций с приводом от поршневых двигателей внутреннего сгорания.

Номенклатура газовых топлив расширяется за счёт альтернативных газов, произведенных нетрадиционным способом, либо добытых с нетрадици-

онных месторождений. К таким газовым топливам, в первую очередь, относят биогазы и сланцевый газ.

В отличие от природного газа, в альтернативных газовых топливах, кроме метана (CH₄), содержатся другие негорючие и горючие составляющие. Очистка таких газов от вредных составляющих, уменьшение негорючих составляющих – это дорогостоящие и энергозатратные технологические процессы. Поэтому, в биогазах метановая (горючая) составляющая колеблется от 60 до 80 % [1].

Соответственно, негорючие компоненты будут составлять 20...40 %.

Постановка задания

Для эффективного сжигания природного газа и различных альтернативных газовых топлив в поршневом газовом ДВС требуются различные настройки систем: питания, зажигания, наддува, автоматического регулирования, рециркуляции, нейтрализации отработавших газов (ОГ) и т.д. Получение рациональных параметров для каждой из систем с возможностью быстрой адаптации ДВС для «нового» газового топлива – это проблема, которая требует комплексных исследований, применения микроконтроллерных технологий для создания автоматической системы управления ДВС и подсистем автоматического регулирования.

Для решения проблемы нами предложено начать исследования, представив все газовые топлива, как две составляющие: горючая составляющая – CH_4 и негорючая составляющая в виде углекислого газа (CO_2).

Природный газ, где содержание CH_4 составляет 100 % назвали CH_{100} . Альтернативный газ, где CH_4 по массе 78 %, а негорючая составляющая заменена CO_2 в количестве 12 %, назвали топливом CH_{78} . Такой подход с физическим моделированием различных газовых топлив, как составляющих CH_4 и CO_2 , дал возможность быстро решить задачу моторных исследований на эффективность сгорания с учётом внешней нагрузки, получить исходные данные для дальнейших исследований системы регулирования дозированием газового топлива и зажиганием.

Цель исследования, представленного в статье, – индицирование рабочего процесса газового двигателя энергетической установки при подаче в цилиндры газовых топлив с различным содержанием CO_2 , определение граничных значений содержания CO_2 в газовом топливе. Газовые смеси должны обеспечивать устойчивую работу как на установившихся так переходных режимах.

Особенности моторной установки

Исследования проведены на газовом двигателе, который был конвертирован с бензинового ДВС типа 8Ч10 /8,8 и работал на привод электрического генератора [2]. Энергетическая установка при 1500 мин^{-1} вырабатывала номинальную электрическую мощность 30 кВт. Внешняя нагрузка создавалась реостатами. Степень сжатия (8,5) и систему зажигания не изменяли.

Система автоматического дозирования газового топлива разработана совместно с Институтом газа НАН Украины на основе узлов микроконтроллера фирмы HEINZMANN [3]. Ис-

полнительный орган марки StG 2010–SV перемещал дроссельную заслонку и регулировал количество газозвушной смеси. Управление исполнительным органом-дроссельной заслонкой осуществлял ПИД-регулятор, входной вал исполнительного органа имел обратную связь по положению. Настройка ПИД-регулятора и обратная связь обеспечили поддержание, практически одинакового значения коэффициента избытка воздуха при частоте 1500 мин^{-1} и изменении нагрузки, что показано на рис. 1.

На базовом (контроль для сравнения) топливе CH_{100} провели настройку ПИД-регулятора: пропорциональная (П) составляющая – 10 %, интегральная (И) – 10 %, дифференциальная (Д) – 15 % [4].

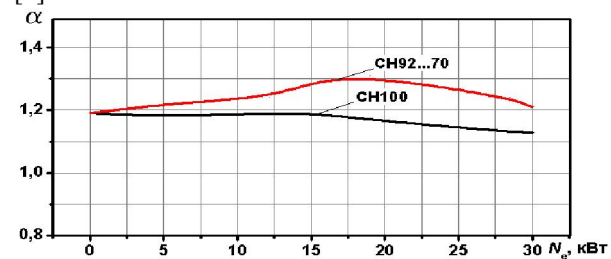


Рис. 1. Состав смеси газового двигателя 8Ч10/8,8 по нагрузочной характеристике

Проверку устойчивости работы ДВС проводили мгновенными сбросами-набросами 100 % внешней нагрузки. Для других альтернативных газовых топлив регулировку ПИД-регулятора не изменяли.

«Моделирование нового» газового топлива осуществляли замещением CH_4 частью CO_2 на установившихся режимах (1500 мин^{-1}) при нагрузках: 30, 28, 19, 15, 12, 5, 0 кВт, добившись устойчивой работы ДВС. Правильность настройки и добавочное количество CO_2 проверяли мгновенными сбросом-набросом соответствующей нагрузки. Результаты исследования переходных процессов при добавке к топливу CO_2 опубликованы в работе [5]. Добавка CO_2 несколько увеличивала длительность переходного процесса.

Индицирование рабочего процесса газового ДВС на базовом CH_{100} топливе и с добавлением CO_2 осуществляли с помощью тензометричного датчика давления модели МИДА–ДИ–12П–081 и USB-осциллографа. Рабочий диапазон датчика 0...10 МПа, максимальное значение температуры 350 $^{\circ}\text{C}$, было введено дополнительное водяное охлаждение измерительного элемента. Запись цифровых осциллограмм проводили с частотой 250 кГц. Усреднение сделали по 35...70 индикаторным диаграммам. Пример индикаторной диаграммы для топлива CH_{80} показан на рис. 2.

Кроме цифровой записи давления в цилиндре, фиксировали момент проскакивания электрической

икры, ВМТ, давление во впускном коллекторе.

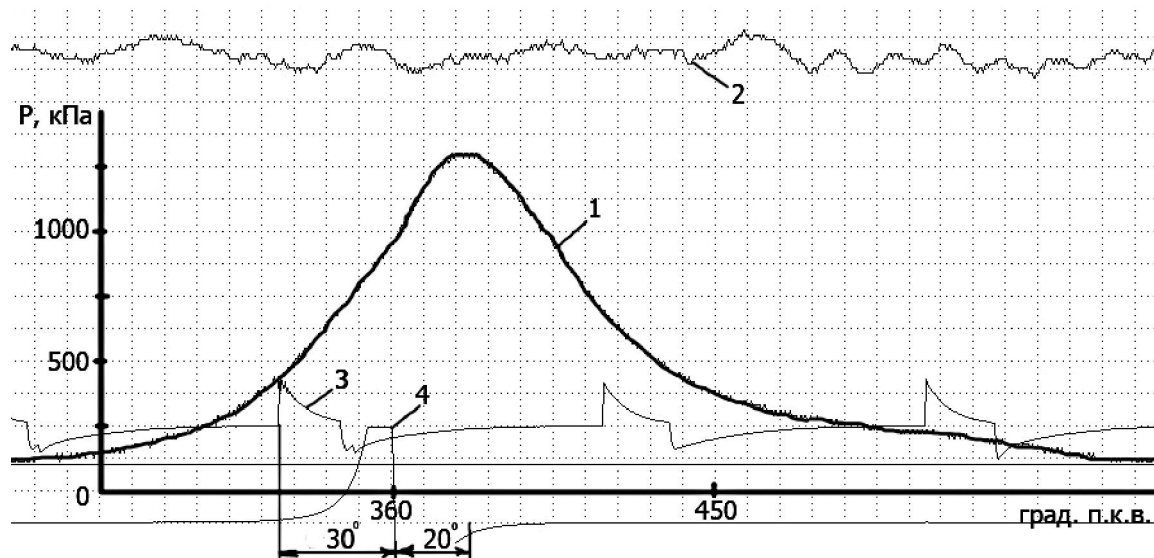


Рис. 2. Индикаторная диаграмма работы газового двигателя 8Ч 10 / 8,8 на топливе СН83:
1 – сигнал тензодатчика давления; 2 – сигнал датчика разрежения во впускном коллекторе;
3 – момент проскакивания электрической искры; 4 – метка ВМТ

Результаты индцирования

На рисунках 3 и 4 показаны результаты индцирования газового двигателя при 1500 мин⁻¹ и работе на базовом топливе СН100 (рис. 3) и газовых топливах с замещением метана 8, 20 и 30 % по массе (рис. 4) в зависимости от внешней нагрузки. При 100 % нагрузки (30 кВт) достигнута устойчивая работа газового ДВС при замещении 8 % СН₄ негорючим СО₂, т.е. топливом СН92. При 50 % нагрузки замещение СО₂ составило 20 % – топливо СН80, а в режиме активного холостого хода СН₄ был замещен на 30 % негорючим СО₂.

Был проведен анализ характеристик тепловыделения (в статье не приведен) на основании уравнения сгорания Вибе. Было установлено, что добавка СО₂ удлиняет процесс сгорания на 4...7 град п.к.в., т.е. индикаторные диаграммы и характеристики тепловыделения при работе на топливах СН92...СН70 смещены вправо.

Максимальное давление при работе на топливах СН92...СН70 несколько ниже, чем при базовом топливе СН100. Равенство эффективных мощностей при соответствующих нагрузках достигается уменьшением насосных потерь при работе на топливах СН92...СН70. Увеличение подачи СО₂ вместо СН₄ приводит к большему открытию дроссельной заслонки.

Влияние замещение СН₄ негорючим СО₂ на возрастание усредненного давления p_a на впуске приведено в табл.1.

Таблица 1. Давление p_a на впуске в газовый ДВС

p_a , кПа при нагрузке:	Топливо			
	СН100	СН92	СН80	СН70
100%	80	90	–	–
50%	70	–	80	–
0% (х.х.)	63	–	–	70

Следует отметить, что полученные результаты справедливы для работы на обедненной смеси с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,2...1,3$ и углом опережения зажигания 30 град. до ВМТ.

Проведенный эксперимент можно рассматривать и с другой стороны – как физическое моделирование (при помощи негорючего СО₂) подачи охлажденных до 293 К отработавших газов, т. е. моделирование рециркуляции ОГ для ДВС с искровым зажиганием.

Выводы

Исследование подачи углекислого газа в газовый двигатель 8Ч10/8,8 с микроконтроллерным дозированием количества смеси доказали возможность увеличения замещения основного топлива (СН₄) негорючим с 8 % при номинальной мощности (30 кВт) электрической установки до 30 % по массе при отсутствии внешней нагрузки и сохранении устойчивой работы двигателя при 1500 мин⁻¹.

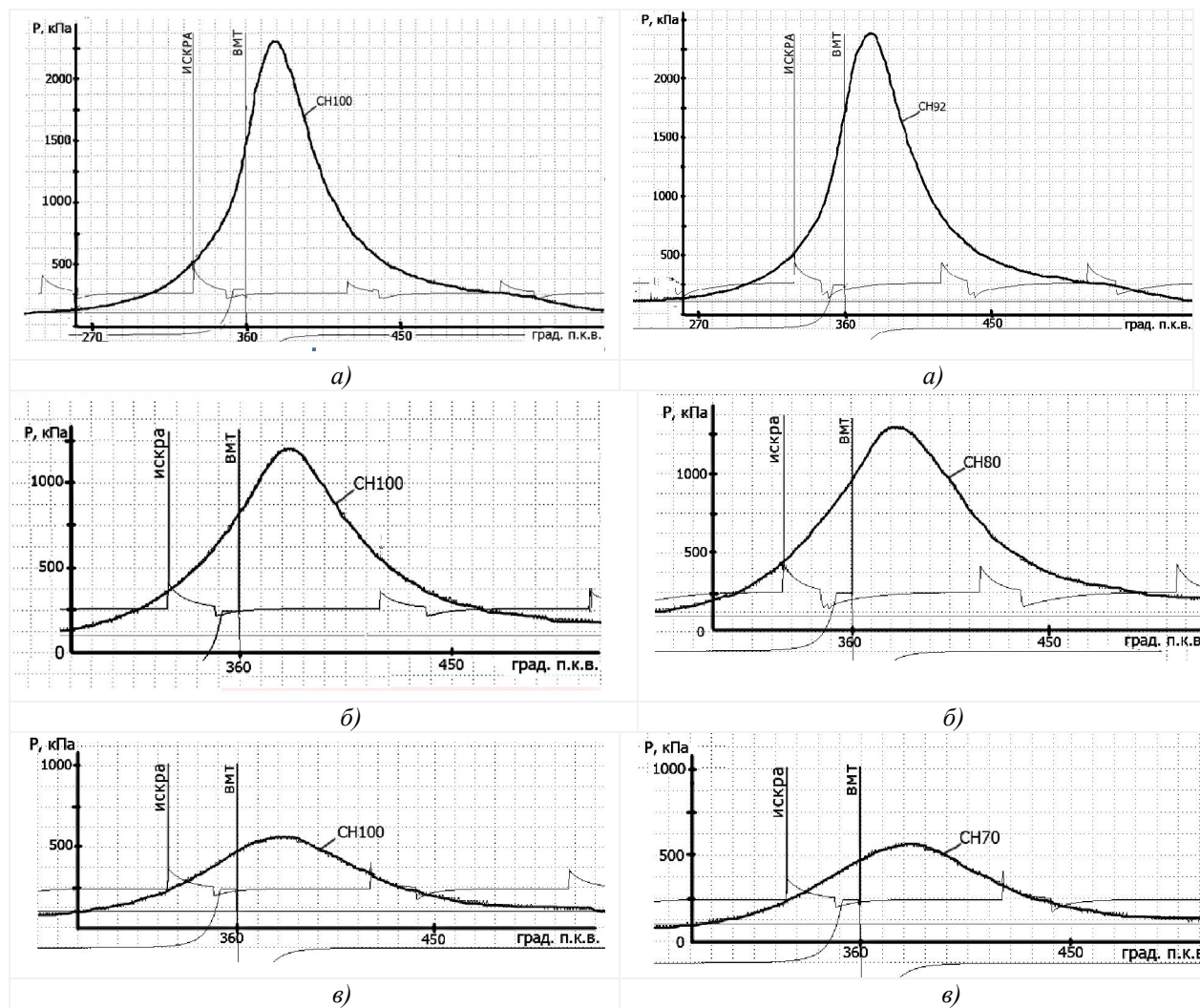


Рис.3. Индикаторные диаграммы газового ДВС на топливе СН100 при:
а) 100% нагрузки; б) 50% нагрузки; в) режим холостого хода

Рис.4. Индикаторные диаграммы газового ДВС на топливах СН92, СН80 и СН70 при:
а) 100% нагрузки; б) 50% нагрузки; в) режим холостого хода

Полученные результаты будут использованы при разработке и дальнейших исследованиях автоматических систем управления дозированием газового топлива, рециркуляции и нейтрализации ОГ.

Список литературы:

1. Биогаз – альтернативное топливо для дизелей / С.Н. Девянин, В.Л. Чумаков, В.А. Марков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 2(26). – С. 68 – 73. 2. Моторна установка для індицирування робочого процесу газового двигуна / А.А. Лісовал, М.С. Нижник // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч. 1. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 26. – С. 159 – 165. 3. Електронні системи подачі газу в когенераційну установку / А. Лісовал, М. Нижник, О. Вербовський // Systems and means of motor transport. Selected problems. Seria: Transport, Politechnika Rzesowska, Poland, 2013. С. 245-250. 4. Когенераційна установка з газовим двигуном

/ А.А. Лісовал, М.С. Нижник, В.С. Вербовський // Водний транспорт. Збірник наукових праць. Київської держ. академії водного транс-ту ім. Петра Конашевича-Сагайдачного. К.: КДАВТ, 2013. – № 3 (18). – С. 51 – 55. 5. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників транспортних засобів удосконаленням систем регулювання та використання альтернативних палив : звіт про НДР (за-ключ.) / М-во освіти науки, молоді та спорту України; Нац. транс. ун-т. ; рук. А. Говорун. – УДК 621.43 ; № держреєст.0110U000128. – К., 2012. – 116 с.

Bibliography (transliterated):

1. Biogas – alternative fuel for diesel engines / S.N. Devyainin, V.L. Chumakov, V.A. Markov // Transport on alternative fuel. – 2012. – № 2(26). – S. 68 – 73. 2. Motorna ustanovka dlya inditsiruvannya robochogo protsesu gazovogo dviguna / A.A. Lisoval, M.E. Nizhnik // Visnik Natsionalnogo transportnogo unIversitetu: V 2-h chastinah: Ch. 1. – K.: NTU, 2012. – Vip. 26. – S. 159 – 165. 3. Elektronni sistemi podachi gazu v kogeneratslynu ustanovku / A. Lisoval, M. Nizhnik, O. Verbovskiy // Systems and

means of motor transport. Selected problems. Seria: Transport, Politechnika Rzesowska, Poland, 2013. S. 245-250. 4. Kogeneratsiyna ustanovka z gazovim dvigunom / A.A. Lisoval, M.E. Nizhnik, V.S. Verbovskiy // Vodniy transport. Zbirnik naukovih prats. Kiyivskoyi derzh. akademiyi vodnogo transtu Im. Petra Konashevicha-Sagaydachnogo. K.: KDAVT, 2013. – № 3 (18). – S.

51 – 55. 5. Polpshennya palivnoyi ekonomichnosti ta ekologich-nih pokaznikiv transportnih zasobiv udoskonalenniam sistem reguluyuvannya ta vikoristannya alternativnih paliv : zvl't pro NDR (za-klyuch.) / M-vo osviti nauki, molodi ta sportu UkraYini ; Nats. trans. un-t.; ruk. A. Govorun. – UDK 621.43 ; № derzhrest.0110U000128. – K., 2012. – 116 s.

Поступила в редакцию 19.06.2014

Лисовал Анатолий Анатолиевич – докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры двигателей и теплотехники Национального транспортного университета (НТУ), Киев, Украина, e-mail: li-dvz@bigmir.net.

Нижник Максим Евгеньевич – аспирант кафедры двигателей и теплотехники Национального транспортного университета (НТУ), Киев, Украина, e-mail: free-time@bigmir.net.

Свистун Юрий Анатольевич – аспирант кафедры двигателей и теплотехники Национального транспортного университета (НТУ), Киев, Украина, e-mail: svystun_yurec@ukr.net.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГАЗОВОГО ДВИГУНА НА ПАЛИВАХ З РІЗНИМ ВМІСТОМ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ

A. A. Lisoval, M. Ye. Nyzhnyk, Yu. A. Svistun

У статті описані особливості і результати експериментальних досліджень при фізичному моделюванні альтернативних газових палив. Виконано індицирування двигуна при добавці до метану вуглекислого газу. Частка заміщення метану вуглекислим газом становила 8 ... 30% залежно від навантаження. При таких значеннях заміщення досягли стійкої роботи двигуна 8Ч10 / 8,8 на привід електричного генератора.

RESEARCH OF THE GAS ENGINE FUELS WITH DIFFERENT CONTENT OF CARBON DIOXIDE

A. A. Lisoval, M. Ye. Nyzhnyk, Yu. A. Svistun

The article describes the results of experimental research while alternative gas fuels simulating. The research carried out on the installation of 30 kW electrical power. Test was taken on 8-cylinder gas combustion engine with a cylinder bore of 100 mm and 88 mm stroke, 8.5 compression ratio.

The controller for dosing the amount of gas-air mixture was installed on the engine. Controller was designed based on the firm knots HEINZMANN.

The aim of the research was to measure in-cylinder pressure in the engine running on the fuel with the addition of carbon dioxide (CO₂) to methane (CH₄). The number of substituted of CH₄ was 8 ... 30%, depending on the load. The criterion of ratio of CO₂ to CH₄ was the stability of the spark-ignition engine with off and on by the load on the electric generator.

When addition of CO₂ the combustion duration increases for 4 ... 7% in crankshaft rotation degrees.

УДК 621.43

А.П. Марченко, О.О. Осетров, С.С. Кравченко

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗГОРЯННЯ В ДВИГУНІ З ФОРКАМЕРНО-ФАКЕЛЬНИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ 11ГД100М

Робота присвячена дослідженню особливостей протікання процесу згоряння збіднених паливо-повітряних сумішей в двигуні з форкамерно-факельним запалюванням 11ГД100М. За результатами експериментальних досліджень проаналізовано показники процесу згоряння в циліндрі двигуна на режимах навантажувальної характеристики. Обґрунтовано вибір математичної моделі для опису процесу згоряння в циліндрі дослідного двигуна. Запропоновано емпіричні залежності для визначення показників тривалості згоряння φ_z та характеру згоряння m моделі І.І. Вібе від коефіцієнту надлишку повітря a .

Вступ

Сьогодні важливим напрямком у розвитку двигунобудування є удосконалення робочого процесу ДВЗ з примусовим запалюванням, що забезпечує згоряння збіднених паливо-повітряних сумішей. Стабільність процесу згоряння при цьому може бути досягнута за допомогою різних заходів, таких як пошарове сумішоутворення, збільшення енергії запалювання, а також введення різних дода-

ткових речовин у паливно-повітряну суміш, наприклад водню.

Організація процесу згоряння палива в двигунах 11ГД100М, що живляться природним газом, відрізняється від більшості газових двигунів. Як відомо, межа збіднення паливо-повітряної суміші при використанні природного газу при традиційній організації робочого процесу двигуна з іскровим запалюванням суміші не перевищує 1,6, тобто організація виключно якісного сумішоутворення є