

А.А. Лисовал

СВЯЗАННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧАМИ БИОГАЗА И МЕТАНА В ГАЗОВОМ ДВИГАТЕЛЕ

Результаты экспериментальных исследований были получены на газозлектрической установке номинальной мощности 30 кВт при 1500 мин⁻¹. Приводной бензиновый двигатель 8Ч10/8,8 с искровым зажиганием был конвертирован в чисто газовый. Степень сжатия 8,5 не изменялась. Система подачи газового топлива состоит из линии подачи и аварийного отсечного контура. Линия подачи природного газа подсоединялась к бытовой магистрали через специальный газовый распределитель. На основе узлов фирмы HEINZMANN разработана система дозирования смесового газового топлива, которая через микропроцессорный блок управления и исполнительный орган воздействовала на дроссельную заслонку газового смесителя. В экспериментальных исследованиях смесовым топливом был модельный газ – смесь природного и углекислого газов, которая приготавливалась до газового смесителя в редукторе нулевого давления. При увеличении в модельном газе объёмной доли углекислого газа более 34 % на установившихся режимах наблюдалось ухудшение процесса сгорания. В статье на основании анализа экспериментальных результатов работы газового поршневого двигателя на модельном газе обоснован алгоритм применения связанного автоматического регулирования подачами биогаза и метана. Обоснован переход от количественного к качественному регулированию газозвоздушной смеси. Для этого необходимо создать два контура автоматического регулирования подачами воздуха и смесового топлива из биогаза и природного газа, которые связаны между собой через внешнюю нагрузку. В соответствии с разработанным алгоритмом по мере увеличения нагрузки подача природного газа увеличивается, а подача биогаза уменьшается. При увеличении нагрузки до 75 % и более происходит более интенсивное обогащение топливной смеси природным газом, чем при малых и средних нагрузках. Предложенный алгоритм регулирования топливной смеси может быть реализован с применением газовых электромагнитных форсунок для дозирования составляющих смесового топлива. В качестве корректирующих связей для алгоритма связанного регулирования выбраны сигналы от датчиков содержания кислорода и метана в отработавших газах. Разработаны рекомендации по выбору режимов настройки датчиков содержания кислорода и метана.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания; газовый поршневой двигатель; метан; модельный газ; регулирование состава газового топлива.

Введение

Для энергетического и транспортного секторов экономики Украины остаётся актуальным расширение ассортимента газовых моторных топлив. К альтернативным газовым моторным топливам, в первую очередь, относят биогаз и шахтный газ [1, 2].

Применение биогаза, безусловно, расширяет ассортимент газовых моторных топлив, однако в зависимости от природы сырья состав биогаза различен и соответственно калорийность топлива будет тоже разной. Получение биогаза осуществляется в результате процесса метанового брожения органических отходов в специальных химических реакторах или на мусорных полигонах. В теоретических расчётах принято считать, что биогаз – низкокалорийное топливо, которое состоит из таких компонентов: 50...80 % метана, 25...50 % углекислого газа, 1...5 % водорода и 0,3...3 % азота [1].

Рассматривать биогаз как полноценное моторное топливо возможно только после предварительной очистки (в первую очередь от соединений серы) и при определённой концентрации горючей (метановой) составляющей. Количество метановой составляющей возможно поддерживать автоматически, смешивая биогаз и природный газ в заданных пропорциях.

Статья является продолжением работы [3] по разработке системы питания и автоматического регулирования газового двигателя, работающего на смеси природного газа (метана) и биогаза. В работе [3] приведены результаты экспериментальных исследований газовой системы двигателя с искровым зажиганием, работающей на привод электростанции мощностью 30 кВт. Исследования автоматической системы количественного регулирования газозвоздушной смеси были проведены на метане и на модельном газе.

Модельный газ – это смесь природного газа с углекислым, которая моделирует биогаз и позволяет упростить трудоёмкость экспериментальных работ. Исследователями экспериментально установлено, что объёмная доля CO₂ для реалистичного моделирования биогаза может достигать 30...40 %. Дальнейший рост CO₂ приводит к увеличению выбросов CO и углеводов в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания [4].

Задача исследования – на основании анализа экспериментальных результатов работы газового поршневого двигателя на модельном газе обосновать алгоритм применения связанного автоматического регулирования подачами биогаза и метана.

Принцип связанного регулирования взят из теории автоматического регулирования ДВС [5].

Наиболее близкими к тематике статьи являются: результаты исследований в ХНАДУ автотракторного дизеля 6Ч13/14, который был конвертирован в газовый двигатель [6]; результаты стендовых исследований в НУК им. Макарова по добавке синтез-газа к бензину и этанолу, проведенные на двигателях 2Ч7,2/6 и 4Ч10,16/9,1 с искровым зажиганием [7, 8]; результаты исследований на беговых барабанах в ГП «ГосавтотрансНИИпроект» автомобиля ВАЗ-2101, который работал на модельном газе [9]. Результаты этих работ анализировались и сопоставлялись с полученными результатами, которые опубликованы в работе [3].

Методика, оборудование и результаты экспериментальных исследований

Все экспериментальные исследования были проведены на газoeлектрической установке в Институте газа НАН Украины (ИГ НАНУ) в рамках программы договора о научно-техническом сотрудничестве с Национальным транспортным университетом (НТУ). Номинальная мощность электрогенератора 30 кВт при 1500 мин⁻¹. Приводной бензиновый двигатель 8Ч10/8,8 с искровым зажиганием был конвертирован в чисто газовый. Степень сжатия 8,5 не изменялась. Система подачи газового топлива состоит из линии подачи и аварийного отсечного контура. В лаборатории ИГ НАНУ линия подачи природного газа подсоединялась к бытовой магистрали через специальный газовый распределитель. При отсутствии газового топлива автоматически перекрывалась вся общая подающая газовая магистраль к двигателю.

Схема разработанной системы дозирования газового топлива на основе узлов фирмы HEINZMANN [10] показана на рис. 1.

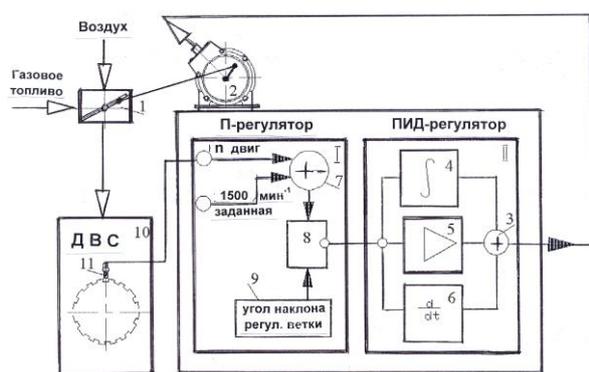


Рис. 1. Схема дозирования газового топлива:
 1 – дроссельная заслонка; 2 – исполнительный орган; 3 – сумматор ПИД-регулятора;
 4,5,6 – интегральная, пропорциональная, дифференциальная составляющие ПИД-регулятора; 7,8,9 – программные блоки;
 10 – двигатель; 11 – индуктивный датчик

Регулировка количества газо-воздушной смеси осуществляется с помощью дроссельной заслонки 1, которая установлена в газовом смесителе. Привод дроссельной заслонки газового смесителя соединен с исполнительным органом 2 – поворотным электромагнитом с обратной связью по положению выходного вала. Исполнительный орган 2 получает сигналы управления от микропроцессорного блока Pandaros [10].

Микропроцессорный блок включает две составляющие: пропорциональный регулятор частоты вращения коленчатого вала газового ДВС с программными блоками 7...9 для сравнения фактической частоты вращения с заданной; ПИД-регулятор исполнительного органа 2 с интегральной 5, пропорциональной 6 и дифференциальной 7 составляющими.

После предварительной очистки в газовый смеситель поступает атмосферный воздух и газовое топливо из редуктора (клапана) нулевого давления. Этот редуктор стабилизирует давление газового топлива на входе в газовый смеситель.

Для смешивания природного и углекислого газов, т.е. для формирования модельного газа, была доработана конструкция камеры редуктора нулевого давления. Это принципиальное отличие получения модельного газа от методики, предложенной в работе [9], где формирование смеси осуществлялось перекачкой отмеренной дозы углекислого газа в стандартный метановый баллон и дозаправкой природным газом до давления 20 МПа.

Для физического моделирования смеси биогаза с природным газом во время формирования модельного газа увеличивали объемную часть углекислого газа до 30 % по мере уменьшения внешней нагрузки. Расчетным путем определяли аналогичное соотношение сжатого природного газа (СПГ) и добавки биогаза. Для расчета приняли, что в СПГ содержится 90,5 % метана, а в биогазе 60 % метана и 40 % углекислого газа.

При увеличении в модельном газе объемной доли углекислого газа более 34 % на установившихся режимах наблюдалось ухудшение процесса сгорания, что было зафиксировано при индицировании цилиндра ДВС. Этот результат сопоставим с данными работы [4] относительно допустимой объемной части CO₂ в модельном газе.

Пропорциональный регулятор блока Pandaros на период испытаний поддерживал частоту вращения коленчатого вала газового двигателя со степенью неравномерности 0,3 %, что соответствует колебаниям электрического тока в пределах 50...50,15 Гц. Критериями настройки ПИД-регулятора были: устойчивость работы газового

ДВС; минимальная длительность переходного процесса и не больше одного перерегулирования при «мгновенном» сбросе-набросе 100 % нагрузки. Внешняя нагрузка создавалась реостатами. При работе на модельном газе настройки регулятора не менялись. Рекомендации по настройкам разработанного регулятора описаны в работе [3].

В целом разработанный регулятор для газового ДВС обеспечивает регулирование частоты вращения коленчатого вала с заданной степенью неравномерности (0...6 %) и при работе на метане может поддерживать состав газо-воздушной смеси в пределах 1,0...1,55 коэффициента избытка воздуха.

При работе на модельном газе регулятор поддерживал коэффициент избытка воздуха газо-воздушной смеси в пределах 1,0...1,3.

В табл. 1 приведены результаты экспериментальных исследований газового двигателя 8Ч10/8,8 электростанции по применению модельного газа. Расчётные величины в последней колонке табл. 1 можно рассматривать как рекомендации по добавке биогаза к природному газу для создания смесового топлива.

Таблица 1. Результаты испытаний по применению модельного газа в газовом ДВС

Нагрузка, %	Мольные доли в модельном газе		Расчётные значения смеси биогаз / природный газ
	CH ₄ , %	CO ₂ , %	
0	64,5	28,0	85 / 15
50	75,0	17,5	60 / 40
75	80,5	12,0	35 / 65
100	90,5	2,0	0 / 100

Результаты исследований могут служить основой для перехода от количественного к качественному регулированию топливной смеси биогаза и природного газа.

Обоснование связанного регулирования

По экспериментальным данным испытаний модельного газа на рис. 2 построены графики, на которых показаны расчётное количество метана и теплотворная способность модельного газа на входе в газовый смеситель.

Пунктирной линией показано расчётную теплотворную способность газо-воздушной смеси после газового смесителя.

Газо-воздушная смесь создавалась разработанной автоматической системой дозирования газового топлива и обеспечивала устойчивую работу газового ДВС на всех режимах.

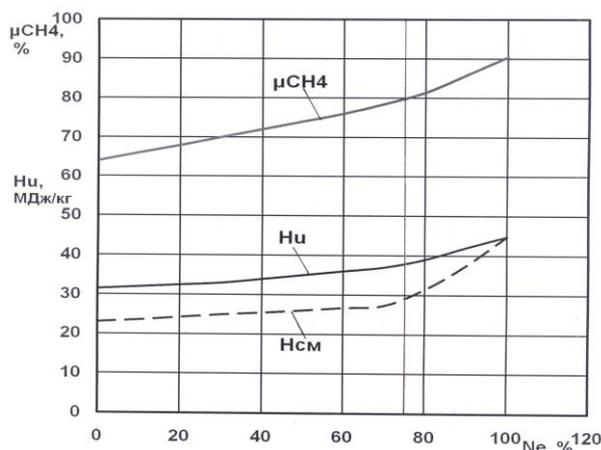


Рис. 2. Состав и теплотворная способность модельного газа при испытаниях газового ДВС: μCH_4 – мольная доля метана; H_u – низшая теплота сгорания топлива; $H_{см}$ – теплота сгорания газо-воздушной смеси; N_e – эффективная мощность

При количественном регулировании газо-воздушной смеси рекомендуется в диапазоне от холостого хода до 75 % нагрузки в составе модельного газа плавно увеличивать горючую (метановую) составляющую от 64 до 80 % (рис. 2). Это необходимо для устойчивой работы газового ДВС на установившихся режимах и при переходных процессах. Для получения номинальной электрической мощности и работы при кратковременной перегрузке горючая составляющая должна быть не менее 90 %.

Анализ полученных обобщённых данных (рис. 2) позволяет перейти от количественного к качественному регулированию газо-воздушной смеси. Для этого необходимо создать два контура автоматического регулирования подачами воздуха и смесового топлива из биогаза и природного газа, которые связаны между собой через внешнюю нагрузку.

Предложено кусочно-линейный алгоритм связанного регулирования смесового топлива, который показан на рис. 3.

В соответствии с разработанным алгоритмом по мере увеличения нагрузки подача СПГ увеличивается, а подача биогаза уменьшается. Коэффициент K_{CH_4} безразмерный, значению 1,0 соответствует содержание не менее 90 % горючей составляющей в топливной смеси. При росте нагрузки 75 % и более происходит более интенсивное «обогащение» топливной смеси, чем при малых и средних нагрузках.

Предложенный алгоритм регулирования топливной смеси может быть реализован с применением газовых электромагнитных форсунок для дозирования составляющих смесового топлива.

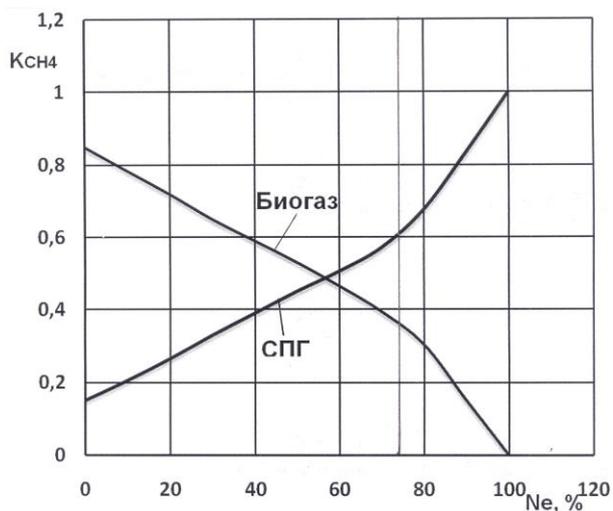


Рис. 3. Алгоритм связанного регулювання сумісного палива:

КСн4 – коефіцієнт содержания метановой составляющей в топливной смеси

Корректирующие обратные связи

Для управления точным дозированием компонентов сумісного палива (біогаз / СПГ) и регулювання газозводушноі суміші необхідні обертені коректувальні зв'язі. В качестве коректувальних зв'язей для алгоритма связанного регулювання предложены сигнали от датчиков содержания кислорода и метана в отработавших газах (ОГ).

В результате анализа и обобщения экспериментальных данных работы газового ДВС на природном и модельном газах была получена базовая (задающая) закономерность изменения концентрации кислорода в ОГ, которая показана в виде графика на рис. 4 сплошной линией. Пунктирными линиями нанесены границы изменения сигнала от датчика кислорода.

Коефіцієнт кислорода K_{O_2} безрозмірна відносна величина, полученная делением фактической концентрации кислорода на максимальное экспериментальное значение концентрации кислорода в ОГ. Значению коэффициента $K_{O_2} = 1,0$ соответствует максимальная концентрация кислорода в ОГ, которая определялась при 50 % мощности внешней нагрузки.

По аналогии с концентрацией кислорода получена базовая (задающая для алгоритма регулювання) закономерность изменения концентрации метана в ОГ, которая показана сплошной линией на рис. 5. Пунктирными линиями нанесены границы изменения сигнала от датчика метана.

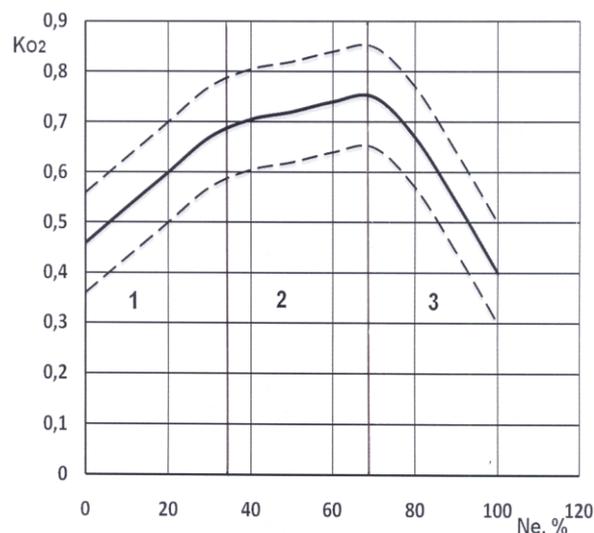


Рис. 4. Базовая закономерность изменения концентрации кислорода в ОГ:

1-3 – диапазоны внешней нагрузки;

K_{O_2} – коэффициент концентрации кислорода в ОГ

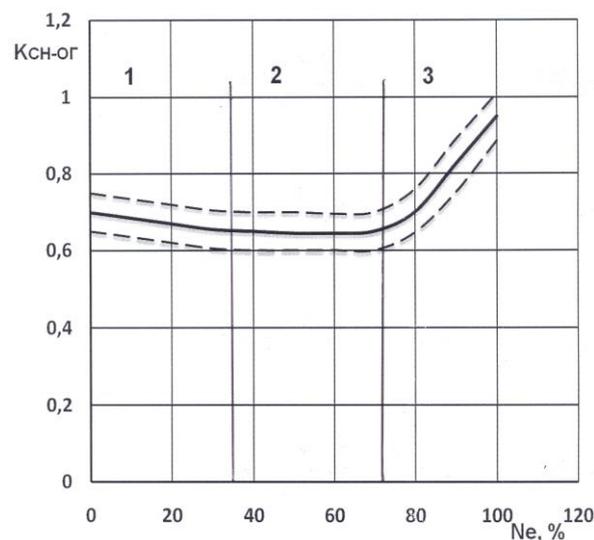


Рис. 5. Базовая закономерность изменения концентрации метана в ОГ:

1-3 – диапазоны внешней нагрузки;

K_{Sn-O_2} – коэффициент концентрации метана в ОГ

Максимальная концентрация метана в ОГ при испытаниях газового ДВС была зафиксирована на номинальном режиме, соответственно значение относительного безрозмірного коефіцієнта на этом режиме $K_{Sn-O_2} = 1,0$.

Для обоснования необходимости введения коррекции по детонации была предпринята попытка определить метановое число (МЧ) для модельного газа разного состава. Существуют закрытые и открытые методики определения МЧ, наиболее

известны методики разработанные фирмами AVL и Caterpillar [2]. Для расчётного определения значения МЧ была выбрана международная методика [11]. На номинальном режиме получено значение МЧ для модельного газа 84.

При расчёте МЧ по методике [11] требуются значения выбранных мольных долей таких компонентов газового моторного топлива: метана, этана, пропана, бутана, углекислого газа и азота. Было принято упрощение в расчёте МЧ модельного газа – изменяли только мольные доли метана и углекислого газа. На холостом ходу при самом большом количестве CO₂ в модельном газе расчётное МЧ было 98...100. Применять методику расчёта МЧ [11] для модельного газа и биогаза без фактических значений всех газовых компонентов не целесообразно.

Выводы

На основании анализа и обобщения экспериментальных результатов испытаний газового поршневого двигателя на модельном газе обоснован алгоритм связанного автоматического регулирования подачами биогаза и метана. Обоснован переход от количественного к качественному регулированию газо-воздушной смеси.

Предложено два контура автоматического регулирования подачи воздуха и смесового топлива из биогаза и природного газа, которые связаны между собой через внешнюю нагрузку.

В соответствии с разработанным алгоритмом связанного регулирования смесового топлива по мере увеличения нагрузки подача природного газа увеличивается, а подача биогаза уменьшается. При увеличении нагрузки 75 % и более кусочно-линейный характер алгоритма обеспечивает интенсивное обогащение топливной смеси природным газом.

В качестве корректирующих связей для алгоритма связанного регулирования выбраны сигналы от датчиков концентрации кислорода и метана в отработавших газах. Разработаны рекомендации по настройке этих датчиков.

Модельный газ имеет пределы для адекватного моделирования биогаза. При увеличении в модельном газе объёмной доли углекислого газа более 34 % наблюдалось ухудшение процесса сгорания. При определении метанового числа модельного газа и биогаза необходимо учитывать влияние более тяжёлых, чем метан, углеводородов и наличие водорода.

Список литературы:

1. Девянин С.Н. 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. Пылев В.А. Шахтный газ – моторное топливо для двигателей внутреннего сгорания / В.А. Пылев, С.А. Кравченко, А.А. Прохоренко, Е.Г. Заславский, В.В. Шпаковский // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2007. – № 1. – С. 10-15. 3. Лисовал А.А. Результаты исследований по применению смеси биогаза и метана в газовом двигателе электростанции / А.А. Лисовал // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2020. – №2. – С. 58-63. 4. Huang J., Crookes R. J. Assessment of simulated biogas as a fuel for the spark ignition engine // *Fuel*. – 1998. – Т. 77. – №. 15. – С. 1793-1801. 5. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания / В.И. Крутов: учебник для студ. вузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания». – [5-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 516 с. 6. Врублевский А.Н. Определение цикловой подачи газового топлива с электронным управлением топливоподачи / А.Н. Врублевский, А.А. Дзюбенко, М.С. Липинский, А.П. Кузьменко, С.О. Подляшук // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2014. – №2. – С. 33 – 37. 7. Тимошевский Б.Г. Характеристики процесса сгорания двигателя 2СН7,2/6 с добавками до 65 % синтез-газа к бензину / Б.Г. Тимошевский, М.Р. Ткач, А.С. Познанский, А.С. Митрофанов, А.Ю. Проскурин // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2015. – №1. – С. 33 – 37. 8. Ткач М.Р. Підвищення ефективності ДВЗ малотоннажних суден застосуванням добавок синтез-газу / М.Р. Ткач, Б.Г. Тимошевський, О.С. Митрофанов, А.С. Познанський, А.Ю. Проскурін // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2018. – №2. – С.3 – 6. DOI:10.20998/0419-87192018.2.01. 9. Шиманський С.І. Використання біогазу як добавки до стисненого природного газу для живлення двигунів транспортних засобів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.22.20 / С. І. Шиманський; Нац. трансп. ун-т. – Київ, 2020. – 20 с. 10. HEINZMANN «Цифровые регуляторы скорости» — К.: DG 95-105, 1997. — 49 с. 11. ISO 15403-1:2006. Natural gas– Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles – Part 1: Designation of the quality.

Bibliography (transliterated):

1. Devyanin S.N., Chumakov V.L., Markov V.A. (2012), "Biogas - alternative fuel for diesel engines", ["Biogaz – al'ternativnoye toplivo dlya dizeley"], *Transport on alternative fuel*. No.2(26), pp.68-73. 2. Pylev V.A., Kravchenko S.A., Prokhorenko A.A., Zaslavsky E.G., Shpakovsky V.V. (2007), "Mine gas - motor fuel for internal combustion engines", ["Shakhtnyy gaz – motornoye toplivo dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya"], *Internal combustion engines*. No.1, pp.10-15. 3. Lisoval A.A. (2020), "Research results on the use of a mixture of biogas and methane in a gas engine of a power plant", ["Rezultaty issledovaniy po primeneniyu smesi biogaza i metana v gazovom dvigatele elektrostantsii"], *Internal combustion engines*. No.2, pp.58-63. DOI: 10.20998/0419-8719.2020.2.08. 4. Huang J., Crookes R. J. (1998), "Assessment of simulated biogas as a fuel for the spark ignition engine", *Fuel*. – Tom 77. – No. 15. – pp. 1793-1801. 5. Krutov V.I. (1989), "Automatic control and management of internal combustion engines" *Mechanical engineering, [Avtomaticheskoe regulirovanie i upravlenie dvigateley vnutrennego sgoraniya]* – p.516. 6. Vrublevsky A.N., Dzyubenko A.A., Lipinsky M.S., Kuzmenko A.P., Podlyashchuk S.O. (2014), "Determination of cyclic supply of gas fuel with electronic control of fuel supply", ["Osoblyvosti predpuskovoho prohrivu statsionarnoho hazovoho dvyhuna z vykorystanniam teplovoho akumul'yatora z fazovym perekhodom"], *Internal combustion engines*. No.2, pp.33-37. 7. Timoshevsky B.G., Tkach M.R., Poznansky A.S., Mitrofanov A.S., Proskurin A.Yu. (2015), "Characteristics of the combustion process of a 2СН7.2/6 engine with additives up to 65 % synthesis gas to gasoline", ["Kharakteristiki protsessu sgoraniya

dvigatelya 2CH7,2/6 s dobavkami do 65 % sintez-gaza k benzynu”, *Internal combustion engines. No.1, pp.33-37. 8. Tkach M.R., Timoshevsky B.G., Mitrofanov A.S., Poznansky A.S., Proskurin A.Yu. (2018), “Improving the efficiency of internal combustion engines of low-tonnage vessels by using synthesis gas additives”, [“Pidvyshchennya efektyvnosti DVZ malotonnazhnykh suden zastosuvanniam dobavok sintez-hazu”], *Internal combustion engines. No.2, pp.3-6. DOI: 10.20998/0419-87192018.2.01. 9. Szymanski S.I. (2020) “The use of biogas as an additive to compressed natural gas to power vehicle en-**

gines”, [“Vykorystannya biohazu yak dobavky do stysnenoho pryrodnoho hazu dlya zhyvlennya dvyhunyv transportnykh zasobiv: avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk : 05.22.20”], *National transport university, Kiev, p.20. 10. HEINZMANN (1997), “Digital speed controllers”, [“Tsifrovyye regulatoryi skorosti ”], Kiev, DG 95-105, p.49. 11. ISO 15403-1:2006. Natural gas– Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles – Part 1: Designation of the quality.*

Поступила в редакцію 15.06.2021 г.

Лисовал Анатолий Анатольевич – доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры двигателей и теплотехники, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, e-mail: li-dvz@bigmir.net. [https:// orcid.org/0000-0001-6168-4010](https://orcid.org/0000-0001-6168-4010)

ВЗАЄМОЗАЛЕЖНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧАМИ БІОГАЗУ І МЕТАНУ В ГАЗОВОМУ ДВИГУНІ

А.А. Лисовал

Результати експериментальних досліджень були отримані на газоелектричній установці номінальної потужності 30 кВт за 1500 хв⁻¹. Приводний бензиновий двигун 8Ч10/8,8 з іскровим запалюванням був конвертований в суто газовий. Ступінь стискання 8,5 не змінювалась. Система подачі газового палива складається з лінії подачі і аварійного відсічного каналу. Лінія подачі природного газу була під'єднана до побутової магістралі через спеціальний газовий розподільник. На основі вузлів фірми HEINZMANN розроблено систему дозування сумішевого газового палива, яка через мікропроцесорний блок управління і виконавчий орган діє на дросельну заслінку газового змішувача. У експериментальних дослідженнях сумішевим паливом був модельний газ – суміш природного і вуглекислого газів, яка готувалася до газового змішувача в редукторі нульового тиску. При збільшенні в модельному газі об'ємної долі вуглекислого газу більше 34 % в усталених режимах спостерігалось погіршення процесу згорання. У статті на підставі аналізу експериментальних результатів роботи газового поршневого двигуна на модельному газі обґрунтовано алгоритм застосування взаємозалежного автоматичного регулювання подачами біогазу і метану. Обґрунтовано перехід від кількісного до якісного регулювання газо-повітряної суміші. Для цього необхідно створити два контури автоматичного регулювання подачами повітря і сумішевого палива з біогазу і природного газу, які взаємозалежні між собою через зовнішнє навантаження. Відповідно до розробленого алгоритму у напрямку збільшення навантаження подача природного газу збільшується, а подача біогазу зменшується. При збільшенні навантаження до 75 % і більше відбувається інтенсивніше збагачення паливної суміші природним газом, чим за малих і середніх навантажень. Запропонований алгоритм регулювання паливної суміші може бути реалізований із застосуванням газових електромагнітних форсунок для дозування складових сумішевого палива. У якості зворотних коригуючих каналів зв'язку для алгоритму взаємозалежного регулювання вибрані сигнали від датчиків вмісту кисню і метану у відпрацьованих газах. Розроблено рекомендації до вибору режимів налаштування датчиків вмісту кисню і метану.

Ключові слова: двигун внутрішнього згорання; газовий поршневий двигун; метан; модельний газ; регулювання складу газового палива.

RELATED REGULATION OF BIOGAS SUPPLIES AND METHANE IN A GAS ENGINE

A.A. Lisoval

The results of experimental researches were received on a gas-electric installation with a rated power of 30 kW at 1500 rpm. The spark-ignited petrol drive engine (8-cylinder, 100 mm cylinder diameter, 88 mm stroke) was converted to a pure gas one. The compression ratio of 8.5 did not change. The gas fuel supply system consists of a supply line and an emergency shut-off circuit. The natural gas supply line was connected to the domestic main line through a special gas distributor. On the basis of HEINZMANN components, a system for dosing mixed gas fuel was developed, which, through a microprocessor control unit and an actuator, acted on the throttle valve of the gas mixer. In experimental researches, the composite fuel was a model gas – a mixture of natural and carbon dioxide gases, which was prepared in a zero pressure reducer before the gas mixer. With an increase in the volume fraction of carbon dioxide in the model gas by more than 34 %, a deterioration of the combustion process was observed in the steady state. In the article, based on the analysis of the experimental results of the operation of a piston gas engine on a model gas, an algorithm for the use of associated automatic control of biogas and methane feeds is substantiated. The transition from quantitative to qualitative regulation of the gas-air mixture has been substantiated. To do this, it is necessary to create two automatic control loops for the supply of air and a mixture of natural gas, which are interconnected through an external load. With the developed algorithm, as the load increases, the supply of natural gas increases, and the supply of biogas decreases. With an increase in the load of 75 % or more, a more intensive enrichment of the fuel mixture with natural gas occurs than at low and medium loads. The proposed algorithm for regulating the fuel mixture can be implemented using electromagnetic gas injectors for dosing the components of the composite fuel. Signals from sensors for oxygen and methane content in exhaust gases were selected as corrective links for the coupled control algorithm. Recommendations on the choice of tuning modes for oxygen and methane sensors have been developed.

Key words: internal combustion engine; gas piston engine; methane; model gas; gas composition regulation.