

А.А. Лисовал

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СМЕСИ БИОГАЗА И МЕТАНА В ГАЗОВОМ ДВИГАТЕЛЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

*Выполнен анализ научных работ за последние десять лет по направлению создания в Украине газовых ДВС, работающих на природном газе, биогазе или подобных низкокалорийных топливах. Задачи работы – обобщить результаты исследований применения модельного газа в газовом ДВС, работающем на привод электростанции, разработать рекомендации по добавкам биогаза к природному газу в зависимости от нагрузки электростанции для создания алгоритма управления подачей топлива. Упростить трудоёмкость экспериментальных работ можно с помощью модельного газа – смеси природного и углекислого газов. В статье приведены рекомендации по настройке системы питания и автоматического регулирования газового двигателя, работающего на смеси природного газа (метана) и биогаза. Для решения поставленных задач были проведены исследования на газозлектрической установке с номинальной мощностью 30 кВт. Изначально установка была оснащена 8-ми цилиндровым бензиновым двигателем с искровым зажиганием и электрогенератором. Базовый ДВС был конвертирован в чисто газовый со степенью сжатия 8,5. При физическом моделировании добавок биогаза к природному газу в модельном газе увеличивали объёмную долю углекислого газа до 30 % в зависимости от внешней нагрузки. Расчётным путём определили аналогичное соотношение сжатого природного газа и добавки биогаза. Для расчёта приняли, что в сжатом природного газа содержится 90...95 % метана, а в биогазе 60 % метана и 40 % углекислого газа. Подтверждена возможность применения в поршневых ДВС с искровым зажиганием биогаза с содержанием 60 % метана как добавки к природному газу. Установлено, что с уменьшением нагрузки доля биогаза может увеличиваться и замещать до 85 % природного газа. При работе на добавках биогаза определены значения концентраций углеводородов и остаточного кислорода в отработавших газах для контроля настройки газового оборудования ДВС. В условиях эксплуатации для электростанции выбрано три режима проверки: холостой ход, 50 % нагрузки, номинальный режим. Результаты исследований могут служить основой для создания алгоритма управления подачей добавки биогаза к природному газу в зависимости от изменения нагрузки.*

**Ключевые слова:** двигатели внутреннего сгорания; газовые поршневые двигатели; метан; модельный газ; регулирование состава газового топлива.

### Введение

Начиная с 80-х годов прошлого столетия, применение малых электростанций на местном региональном уровне стремительно увеличивается. Лидерами в процессах развития малой энергетики являются европейские страны. Вклад малых электростанций в производство электрической и тепловой энергии постоянно растёт [1]. И это не просто электростанции, а когенерационные установки.

Самым распространённым источником для выработки энергии в таких когенерационных установках является дизель, а сейчас конкуренцию ему составляет газовый двигатель внутреннего сгорания.

В современных когенерационных установках на основе поршневых двигателей коэффициент использования теплоты от сгорания топлива может достигать 85...90 % [2, 3]. Экономия топлива при выработке энергии может достигать 40 % в сравнении с раздельным производством аналогичного количества электроэнергии и тепловой энергии (в котельной) [3].

Сегодня актуальным вопросом для Украины является применение мобильных энергетических установок с генерацией электрической, тепловой энергии, а летом и холода. Потребителями таких энергоустановок являются агропромышленные и

жилищно-коммунальные комплексы, государственная служба по чрезвычайным ситуациям, оборонные предприятия и др. Для мощностей 3...300 кВт наиболее часто в качестве привода электрогенератора применяют автотракторные ДВС. Такие ДВС конвертируют для работы на газовых топливах и оборудуют когенерационным контуром и электрогенератором или ещё абсорбционным термическим трансформатором при полигенерации (для преобразования тепла в холод) [4].

В когенерационных установках можно использовать альтернативные газовые топлива. К их числу в Украине, прежде всего, относят биогаз и шахтный газ.

В статье приведены рекомендации по настройке системы питания и автоматического регулирования газового двигателя, работающего на смеси природного газа (метана) и биогаза.

Использование биогаза как моторного топлива известно давно. Производство биогаза осуществляется в результате процесса брожения отходов биологической деятельности человека, животных в специальных химических реакторах или в результате разложения органических отходов на мусорных полигонах. В зависимости от природы сырья состав биогаза разный и, соответственно, калорийность топлива будет тоже разной. Принято считать,

что биогаз – низкокалорийное топливо, состоит из таких основных компонентов: 50...80 % метана, 25...50% углекислого газа, 1...5 % водорода и 0,3...3 % азота [5].

Применение биогаза в качестве моторного топлива, безусловно, расширяет ассортимент газовых топлив, однако, использование низкокалорийных газовых топлив возможно только при определённой концентрации в нём горючей (метановой) составляющей или принудительным увеличением количества горючих компонентов – обогащением. Выполнять последние условия должна автоматическая система регулирования подачи газового топлива.

#### Анализ публикаций и задачи исследования

Сотрудники кафедры «Двигатели и теплотехника» Национального транспортного университета (НТУ) и Института газа НАН Украины (ИГ НАНУ) с 2000 г. работают над созданием и исследованием когенерационных установок с мощностью привода 20...200 кВт и систем автоматического регулирования для таких установок. Разработано методику расчёта когенерационного оборудования на основе теории теплового баланса поршневого ДВС [6]. В ИГ НАНУ накоплен большой опыт по созданию когенерационных установок и газовых двигателей, систем автоматики для их работы. Кроме отечественных двигателей, была осуществлена конвертация транспортных дизелей MAN, Perkins, Doosan в газовые ДВС.

Выполнен анализ научных публикаций за последние 10 лет по направлению создания в Украине газовых ДВС, работающих на природном газе, биогазе или подобных низкокалорийных топливах.

В ХНАДУ автотракторный дизель 6Ч13/14 был конвертирован в газовый двигатель. Для работы на природном газе степень сжатия уменьшена до 11,8, разработана система зажигания с более интенсивным искрообразованием. Стендовые испытания подтвердили устойчивую работу газового ДВС на обеднённых смесях при  $\alpha = 1,4...1,6$ . Предложена система подачи газа с электронным управлением, апробирована методика определения расхода газового топлива [7].

В НТУ «ХПИ» проведены комплексные теоретические и экспериментальные исследования по применению низкокалорийного газа в газовых ДВС, конвертированных с транспортных дизелей модели Д100. Рассматривалась возможность использования таких конвертированных двигателей в качестве привода электростанций мощностью 1100...2500 кВт [8]. Основной особенностью конвертации является применение форкамерно-факельного процесса сгорания газового топлива.

Этот процесс применяют многие ведущие моторостроительные фирмы. Для обеспечения номинальной мощности были предложены конструктивные мероприятия, которые увеличивают цикловую подачу низкокалорийного топлива.

Наиболее близкими к тематике статьи являются результаты исследований по добавке синтез-газа к бензину и этанолу, проведенные в НУК им. Макарова [9, 10]. Теоретические и экспериментальные исследования проведены для широкого диапазона состава смеси  $\alpha = 1,0...2,2$  при разных добавках синтез-газа. Проведены исследования рабочего процесса, токсичности выбросов отработавших газов. Стендовые испытания были выполнены на двигателях 2Ч7,2/6 и 4Ч10,16/9,1 с искровым зажиганием. Авторами установлено, что к основному топливу можно добавлять до 65 % синтез-газа.

Однако отметим, что при производстве синтез-газа на борту транспортного средства, его физико-химические свойства более близки к нефтяному газу (пропан-бутану).

В ИПМаш им. А.Н. Подгорного НАНУ провели теоретические исследования по применению биогаза как добавки к природному газу в поршневых ДВС [11]. Авторы статьи при исследовании рабочего процесса газового ДВС прогнозируют не только энергетические, топливно-экономические показатели, но и токсичность по компонентам отработавших газов транспортного дизеля при разном процентном соотношении метан-биогаз. Прогнозирование на математических моделях представляет возможность исследователям и разработчикам сократить дорогостоящие и трудоёмкие экспериментальные работы.

Упростить трудоёмкость экспериментальных работ можно с помощью модельного газа. Исследователи в работе [1] моделировали биогаз, смешивая природный газ и углекислый. При увеличении доли  $\text{CO}_2$  в модельном газе уменьшаются концентрации выбросов  $\text{NO}_x$  в отработавших газах. При увеличении доли  $\text{CO}_2$  в модельном газе до 30 % и далее, увеличиваются концентрации выбросов  $\text{CO}$ . Дальнейший рост  $\text{CO}_2$  в модельном газе до 40 % приводит к увеличению выбросов углеводородов в отработавших газах ДВС.

**Задачи работы** – обобщить результаты исследований применения модельного газа в газовом ДВС, работающем на привод электростанции, и разработать рекомендации по добавкам биогаза к природному газу в зависимости от нагрузки электростанции для создания алгоритма управления подачей топлива.

### Результаты стендовых испытаний газового ДВС с применением модельного газа

Для решения поставленных задач ранее в ИГ НАНУ были проведены исследования на газотрихической установке с номинальной мощностью 30 кВт. Изначально установка была оснащена бензиновым двигателем 8Ч10/8,8 с искровым зажиганием и электрогенератором ДГФ82-4Б. Базовый ДВС был конвертирован в чисто газовый ( $\epsilon = 8,5$ ).

Система подачи газового топлива состоит из линии подачи непосредственно газового топлива и аварийного отсечного контура. В аварийном отсечном контуре установлен электромагнитный клапан, который срабатывает при наличии избыточного давления в линии подачи газового топлива. При отсутствии газового топлива автоматически перекрывается вся общая подающая газовая магистраль к двигателю.

Общий вид разработанной системы дозирования газового топлива показан на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Фото системы подачи газового топлива: а) общий вид системы дозирования с микропроцессорным блоком управления; б) привод дроссельной заслонки газового смесителя

Регулировка и дозирование газозвушной смеси осуществляется с помощью дроссельной заслонки, которая установлена в специальном газовом смесителе. Привод дроссельной заслонки газового смесителя осуществляет исполнительный орган StG 2010–SV (крайний левый узел на рис. 1) с электронным управлением от блока Pandaros фир-

мы HEINZMANN.

В газовый смеситель поступает атмосферный воздух после очистки и газовое топливо из редуктора (клапана) нулевого давления (крайний правый узел на рис.1, б). Редуктор нулевого давления стабилизирует давление газового топлива на входе в газовый смеситель. После некоторой доработки конструкции в камере нулевого редуктора происходило смешивание природного и углекислого газов, т.е. формировался модельный газ.

Особенностью микропроцессорного блока Pandaros является последовательное соединение пропорционального регулятора частоты вращения коленчатого вала газового ДВС и ПИД-регулятора исполнительного органа, кинематически связанного с дроссельной заслонкой. Исполнительный орган StG 2010–SV оборудован обратной связью по положению выходного поворотного вала, который связан с дроссельной заслонкой, и имеет ограничение по величине максимального тока управления.

Пропорциональный регулятор был настроен на поддержание частоты вращения привода электрогенератора 1500 мин<sup>-1</sup> со степенью неравномерности 0,3 %.

Настройку параметров ПИД-регулятора произвели на метане в режиме холостого хода с последующей проверкой в динамике при «мгновенном» сбросе-набросе 100 %. Нагрузка задавалась реостатами. Индивидуальную настройку ПИД-регулятора закончили выбором двух корректирующих коэффициентов, учитывающих температурный режим ДВС и характеристику изменения нагрузки. Критериями настройки были устойчивость работы ДВС, минимальная длительность переходного процесса и не больше одного перерегулирования. При работе на модельном газе настройки регулятора не менялись.

Кроме исследований переходных процессов при работе на природном и модельном газах, было выполнено индицирование газового ДВС на установившихся режимах при различных углах опережения зажигания и составах газозвушной смеси [12].

Для физического моделирования добавок биогаза к природному газу в модельном газе увеличивали объёмную долю углекислого газа до 30 % в зависимости от внешней нагрузки. Расчётным путём определили аналогичное соотношение сжатого природного газа (СПГ) и добавки биогаза. Для расчёта приняли, что в СПГ содержится 90...95 % метана, а в биогазе 60 % метана и 40 % углекислого газа.

В табл. 1 приведены результаты стендовых испытаний применения модельного газа на газовом

двигателе 8Ч10/8,8, работающего на привод электрогенератора. Расчётные величины в табл. 1 можно рассматривать как рекомендации по добавке биогаза к СПГ в газовом ДВС электростанции малой мощности.

Таблица 1. Рекомендации по добавке биогаза в газовый ДВС электростанции малой мощности

Внешняя нагрузка, %	Соотношение СПГ / Биогаз	Содержание метана в смеси, %
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

Результаты исследований могут служить основой для создания алгоритма управления подачей смеси биогаза и природного газа в зависимости от изменения нагрузки.

#### Рекомендации по контролю настройки газовой аппаратуры в условиях эксплуатации

Кроме индицирования рабочего процесса и исследований переходных режимов, проведен газовой анализ отработавших газов на разных нагрузках. Анализ проводили при заборе проб отработавших газов до каталитического нейтрализатора и после него. Такие исследования выполнены и при работе газового ДВС на СПГ, и при работе на модельном газе. Концентрации вредных веществ определялись на японском газоанализирующем комплексе МЕХА в ГП «ГосавтотрансНИИпроект». Предварительно пробы отработавших газов были отобраны с специальные термические мешки.

Результаты газового анализа отработавших газов при работе на модельном газе представлены в данной статье для контроля в условиях эксплуатации правильной настройки газового оборудования двигателя.

Для подтверждения правильности настройки газового оборудования выбрано три эксплуатационных режима электростанции: холостой ход, 50 % нагрузки, номинальный режим.

Значения концентраций СО в отработавших газах были очень маленькие, а значения СО<sub>2</sub> изменялись при настройке на незначительную величину. Установлено, что наиболее информативными и доступными для применения в условиях эксплуатации являются значения концентраций углеводородов и остаточного кислорода в отработавших газах, измеренные до каталитического нейтрали-

тора.

Рекомендуемые значения концентраций углеводородов и О<sub>2</sub> для проверки настройки газовой аппаратуры при работе на добавках биогаза к СПГ приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Концентрации углеводородов при добавке биогаза в газовый ДВС электростанции

Режим работы	Углеводороды, млн <sup>-1</sup>	
	по гексану	по метану
холостой ход	до 2400	до 1500
50 % нагрузки	до 1800	до 1400
номинальный режим	до 2400	до 2000

Таблица 3. Концентрации О<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> при добавке биогаза в газовый ДВС электростанции

Режим работы	О <sub>2</sub> , %	NO <sub>x</sub> , млн <sup>-1</sup>
холостой ход	4...5	до 15
50 % нагрузки	4...8	до 450
номинальный режим	2...4	до 1000

Приведенные в табл. 3 значения выбросов NO<sub>x</sub> тоже можно использовать для контроля настройки газовой аппаратуры, но для этого потребуются соответствующий газоанализатор на определение NO<sub>x</sub>. Приведенные значения NO<sub>x</sub> подтверждают вывод авторов работы [1], что с увеличением добавки СО<sub>2</sub> в модельном газе концентрация NO<sub>x</sub> в отработавших газах уменьшается.

#### Заключение

Анализ публикаций показал необходимость принятия в Украине регламентов на состав и степень очистки биогаза. Такие стандарты действуют в странах ЕС. В Норвегии и Дании произведенный биогаз очищается до содержания 95 % метана и может подаваться в общую транспортную магистраль природного газа.

Проведены стендовые исследования газового двигателя на модельном газе. Подтверждена возможность применения в поршневых ДВС с искровым зажиганием биогаза с содержанием 60 % метана как добавки к природному газу. С уменьшением нагрузки доля биогаза может увеличиваться и замещать до 85 % природного газа.

При работе на добавках биогаза определены значения концентраций углеводородов и остаточного кислорода в отработавших газах для контроля настройки газового оборудования ДВС в условиях эксплуатации. Для электростанций выбрано три режима проверки: холостой ход, 50 % нагрузки,

номинальный режим.

Обобщённые результаты исследования применения модельного газа в ДВС позволяют продолжить работы по усовершенствованию автоматической системы подачи смесового газового топлива.

**Список литературы:**

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. Першин С. А. Оптимизация параметров когенерационной установки // Новый университет: серия "технические науки". – 2016. – №. 5-6. – С. 77–90. 3. Разуваев А. В. Целесообразность применения систем утилизации тепла ДВС // Турбины и дизели. – 2010. – №. 1. – С. 48-50. 4. Вербовский В.С. Особенности предпускового прогрева стационарного газового двигателя с использованием теплового аккумулятора с фазовым переходом / В.С. Вербовский, Г.В. Грицук, Д.С. Адров, З.Г. Краснокутська // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – №2. – С. 85 – 90. 5. Девяннин С.Н. Биогаз – альтернативное топливо для дизелей / С.Н. Девяннин, В.Л. Чумаков, В.А. Марков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 2(26). – С. 68 – 73. 6. Долганов К.С. Система живления для переобладнання дизеля в газовий двигун / К.С. Долганов, А.А. Лисовал, О.І. П'ятичико, Ю.П. Майфет. // Вісник НТУ-ТАУ. – 2002. – Вип. №7. – С. 295 – 299. 7. 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. Подляцук // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – №2. – С. 33 – 37. 8. Марченко А.П. Забезпечення номінальної потужності стаціонарного газового двигуна при використанні низькокалорійних газових палив / А.П. Марченко, О.О. Осетров, С.С. Кравченко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. – №1. – С. 15 – 33. 9. 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. 10. 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. 11. Бганцев В.М. Розрахункове визначення впливу складу біогазу на характеристики транспортного двигуна / В.М. Бганцев, А.М. Левтеров, Н.Ю. Гладкова // Двигатели внутреннего сгорания. – 2018. – №1. – С. 7 – 14. DOI: 10.20998/0419-87192018.1.02. 12. Лисовал А.А. Исследование работы газового двигателя на топливах с разным со-

держанием углекислого газа / А.А. Лисовал, М.Е. Нижник, Ю.А. Свистун // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – №2. – С. 8 – 14.

**Bibliography (transliterated):**

1. Klimentko V.N., Mazur A.I., Sabashuk P.P. (2008), "Cogeneration systems with heat engines. Reference manual. Part 1. General issues of cogeneration technologies", ["Kogeneratsionnyye sistemy s teplovymi dvigatelyami. Spravochnoye posobiye. Chast' 1. Obshchiye voprosy kogeneratsionnykh tekhnologiy"], "IPITS ALKON NAN Ukrainy", Kiev, 559 p. 2. Pershin S.A. (2016), "Optimization of parameters of a cogeneration plant", ["Optimizatsiya parametrov kogeneratsionnoy ustanovki"], New University: a series of "technical sciences". No.5-6, pp.77-90. 3. Razuvaev A.V. (2010), "The feasibility of using heat recovery systems for internal combustion engines", ["Tselesoobraznost' primeneniya sistem utilizatsii tepla DVS"], Turbines and diesel engines. No.1, pp.48-50. 4. Verbovskiy V.S., Gritskuk I.V., Adrov D.S., Krasnokutskaya Z.I. (2014), "Peculiarities of the pre-start heating of a stationary gas engine with heat accumulators in the vicinity of the phase transition", ["Osoblyvosti predpuskovoho prohrivu statsionarnoho hazovoho dvyhuna z vykorystanniam teplovoho akumuliyatora z fazovym perekhodom"], Internal combustion engines. No.2, pp.85-90. 5. 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. 6. Dolganov K.Ye., Lisoval A.A., Pyamyshko O.I., Mayfet Yu.P. (2002), "Power system for converting a diesel engine into a gas engine", ["Systema zhyvlennya dlya pereobladnannya dizeleya v hazovyy dvyhun"], Bulletin of NTU-TAU. Vol. 7, pp.295-299. 7. Vrublevskiy 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 akumuliyatora z fazovym perekhodom"], Internal combustion engines. No.2, pp.33-37. 8. Marchenko A.P., Osetrov O.O., Kravchenko S.S. (2015), "Ensuring the nominal power of a stationary gas engine when using low-calorie gas fuels", ["Zabezpechennya nominal'noyi potuzhnosti statsionarnoho hazovoho dvyhuna pry vykorystanni nyz'kokaloriynykh hazovykh paliv"], Internal combustion engines. No.1, pp.15-33. 9. Timoshevskiy 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. 10. Tkach M.R., Timoshevskiy 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 zastosuivanniam dobavok sintez-hazu"], Internal combustion engines. No.2, pp.3-6. DOI: 10.20998/0419-87192018.2.01. 11. Bgantsev V.M., Levterov A.M., Gladkova N.Yu. (2018), "Calculation of the influence of biogas composition on the characteristics of the transport engine", ["Rozrakhunkove vyznachennya vplyvu skladu biohazu na kharakterystyky transportnoho dvyhuna"], Internal combustion engines. No.1, pp.7-14. DOI: 10.20998/0419-87192018.1.02. 12. Lisoval A.A., Nizhnik M.E., Svistun Yu.A. (2014), "Tastes of the gas engine on fuels with different carbon dioxide contents", ["Issledovaniya raboty gazovogo dvigatelya na toplivakh s raznym soderzhaniyem uglekislogo gaza"], Internal combustion engines. No.2, pp.8-14.

Поступила в редакцию 29.06.2020 г.

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

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАСТОСУВАННЯ СУМІШІ БІОГАЗУ ТА МЕТАНУ В ГАЗОВОМУ ДВИГУНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

А.А. Лисовал

Виконано аналіз наукових робіт за останні десять років у напрямі створення в Україні газових ДВЗ, які працюють на природньому газі, біогазі або подібних низькокалорійних паливах. Завдання роботи – узагальнити результати дослі-

джен застосування модельного газу в газовому ДВЗ, що працює на привід електростанції, розробити рекомендації щодо добавок біогазу до природного газу в залежності від навантаження електростанції для створення алгоритму управління подачею палива. Спростити трудомісткість експериментальних робіт можна за допомогою модельного газу – суміші 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 стискання 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 заміщувати 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. Результати досліджень можуть служити основою для створення алгоритму управління подачею добавки біогазу до природного газу в залежності від зміни навантаження.

**Ключові слова:** двигуни внутрішнього згорання; газові поршневі двигуни; метан; модельний газ; регулювання складу газового палива.

## RESULTS OF RESEARCH FOR THE USE OF THE BIOGAS AND METHANE MIXTURE IN A GAS POWER PLANT ENGINE

*A.A. Lisoval*

The analysis of scientific publications over the past ten years in the line of creating gas ICEs in Ukraine, operating on natural gas, biogas or similar low-calorie fuels has been carried out. The objectives of the work are to summarize the results of studies on the use of model gas in a gas internal combustion engine operating as a power plant drive, to develop recommendations on biogas additives to natural gas depending on the power plant load, and to develop a fuel supply control algorithm. It is possible to simplify labor intensity of experimental work with the help of 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, research was carried out on a gas-electric plant with a rated capacity of 30 kW. The unit was originally equipped with a spark-ignited 8-cylinder petrol engine and an electric generator. The base ICE was converted to pure gas engine 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 was increased to 30 % depending on the external load. By calculation, we determined a similar ratio of compressed natural gas and biogas additives. For the calculation, it was assumed that compressed natural gas contains 90...95 % of methane, and biogas 60 % of methane and 40% of 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 share of biogas can 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 have been selected for the power plant: idle, 50 % load, rated mode. The research results can serve as the basis for creating a control algorithm for the supply of biogas additives to natural gas, depending on load changes.

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