



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013139240/06, 23.08.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.08.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.08.2013

(45) Опубликовано: 27.01.2015 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2465472 C2, 27.10.2012 . RU 2007108085 A, 10.09.2008 . SU 1268769 A1, 07.11.1986 . US 8192688 B2, 05.06.2012 . US 6397790 B1, 04.06.2002 . US 20110137573 A1, 09.06.2011

Адрес для переписки:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС (для Маркова
В.А., Эб)

(72) Автор(ы):

Марков Владимир Анатольевич (RU),
Поздняков Евгений Федорович (RU),
Шатров Виктор Иванович (RU),
Девянин Сергей Николаевич (RU),
Лобода Станислав Сергеевич (RU),
Сивачев Владислав Максимович (RU),
Сивачев Станислав Максимович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ
им. Н.Э. Баумана") (RU)(54) СПОСОБ КОРРЕКТИРУЕМОЙ ПОДАЧИ ГОРЮЧЕГО БИОГАЗА В ГАЗОДИЗЕЛЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

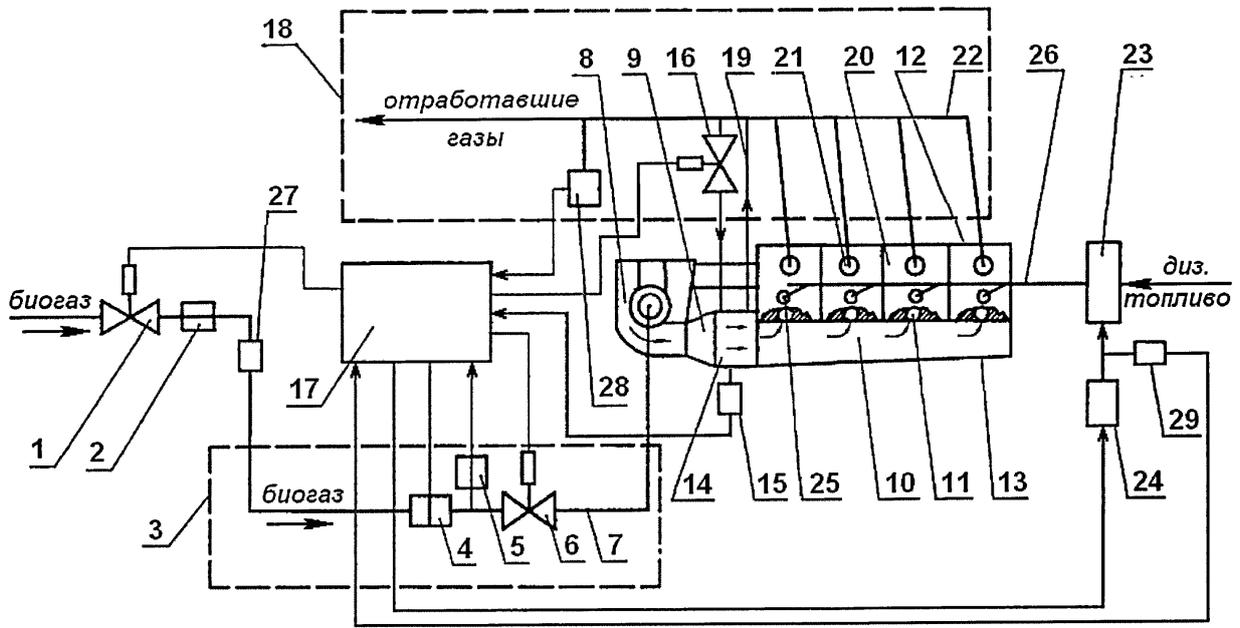
(57) Реферат:

Изобретение относится к регулированию топливоподачи двигателей с воспламенением от сжатия, работающих одновременно на нескольких видах топлива, с основным топливом - газообразным. Предложен способ корректируемой подачи горючего газа в рабочие цилиндры газодизеля, в котором газообразное топливо подают через впускную систему дизеля и его впускные клапаны в рабочие цилиндры, при этом запальная доза дизельного топлива впрыскивается форсунками в рабочие цилиндры газодизеля, а подачу горючего газа корректируют в зависимости от состава горючего газа. При этом корректирование подачи горючего газа - биогаза по процентному содержанию метана в биогазе

осуществляют по косвенной оценке содержания метана с помощью измерений содержания диоксида углерода (углекислого газа) в биогазе на входе во впускную систему газодизеля и/или температуры отработавших газов на выходе из газодизеля. Технический результат заключается в повышении точности корректирования подачи горючего биогаза и в связи с этим увеличении доли замещения жидкого нефтяного топлива газообразным топливом и ограничении температуры отработавших газов на уровне, характерном для работы на биогазе с низким содержанием метана в нем. 2 з.п. ф-лы, 5 ил., 3 табл.

RU 2 540 029 C 1

RU 2 540 029 C 1



Фиг.1

RU 2540029 C1

RU 2540029 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
F02D 19/10 (2006.01)
F02B 45/10 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013139240/06, 23.08.2013

(24) Effective date for property rights:
23.08.2013

Priority:

(22) Date of filing: 23.08.2013

(45) Date of publication: 27.01.2015 Bull. № 3

Mail address:

105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja ul., 5, str. 1,
MGTU im. N.Eh. Baumana, TsZIS (dlja Markova
V.A., Eh6)

(72) Inventor(s):

Markov Vladimir Anatol'evich (RU),
Pozdnjakov Evgenij Fedrovich (RU),
Shatrov Viktor Ivanovich (RU),
Devjanin Sergej Nikolaevich (RU),
Loboda Stanislav Sergeevich (RU),
Sivachev Vladislav Maksimovich (RU),
Sivachev Stanislav Maksimovich (RU)

(73) Proprietor(s):

federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni
N.Eh. Baumana" (MGTU im. N.Eh. Baumana")
(RU)

(54) **METHOD FOR CORRECTED FEEDING OF COMBUSTIBLE BIOGAS IN GAS DIESEL ENGINE OF POWER PLANT**

(57) Abstract:

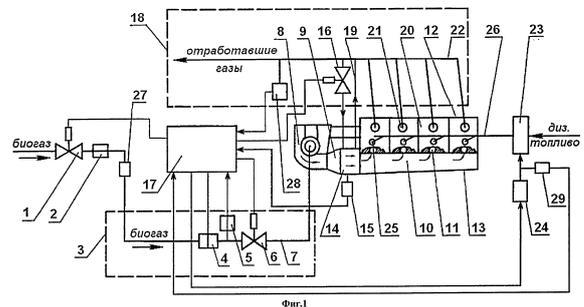
FIELD: power industry.

SUBSTANCE: invention proposes a method of corrected feeding of combustible gas to working cylinders of a gas diesel engine, in which gaseous fuel is fed through an inlet system of the diesel engine and its inlet valves to working cylinders; with that, an ignition batch of diesel fuel is sprayed with injectors to the working cylinders of the gas diesel engine, and combustible gas feeding is corrected depending on combustible gas composition. Correction of combustible gas - biogas feeding as per percentage content of methane in biogas is performed as per an indirect evaluation of methane content by means of measurements of content of carbon dioxide in biogas at the inlet of the inlet gas diesel engine system and/or temperature of waste gases at the gas diesel engine

outlet.

EFFECT: improving accurate correction of feeding of biogas and increasing a share of replacement of liquid oil fuel with gaseous fuel and limiting the temperature of waste gases at the level specific for operation on biogas with low content of methane in it.

3 cl, 5 dwg, 3 tbl



RU 2 540 029 C1

RU 2 540 029 C1

Область техники

Изобретение относится к области эксплуатации двигателей, работающих одновременно на нескольких видах топлива с воспламенением от сжатия, причем основное топливо - газообразное, а именно - к способам питания газодизелей, работающих в составе энергетических установок на биогазе, в частности - дизель-генераторных установок, вырабатывающих переменный электрический ток.

Уровень техники

Известен способ коррекции запальной дозы дизельного топлива в дизелях, работающих по газодизельному процессу, в соответствии с которым с увеличением частоты вращения и нагрузки увеличивают дозу запального топлива. Причем, запальную дозу дизельного топлива выдерживают постоянной при работе двигателя по регуляторной характеристике в диапазоне оборотов от номинальных до минимальных и увеличивают при работе двигателя по внешней скоростной характеристике. При этом обеспечивается снижение расхода дизельного топлива и улучшение качества работы двигателя за счет коррекции запальной дозы дизельного топлива с помощью штатного корректора регулятора скорости прямого действия (патент РФ №2182249, МПК F02D 19/10, опубл. 10.05.2002).

Недостатком такого способа подачи горючего газа в цилиндры газодизеля является отсутствие возможности точного дозирования подачи горючего газа с учетом состава и теплотворной способности подаваемого газообразного топлива.

Другим аналогом является способ подачи горючего газа в рабочие цилиндры газодизеля, заключающийся в том, что газообразное топливо подается через впускную систему дизеля и его впускные клапаны в рабочие цилиндры, при этом запальная доза дизельного топлива впрыскивается в рабочие цилиндры газодизеля механизмом подачи запальных доз жидкого топлива, связанным с регулятором газодизеля (патент РФ №2319846, МПК F02D 19/10, опубл. 20.03.2008).

Недостатком такого способа подачи горючего газа в цилиндры газодизеля энергетической установки является отсутствие возможности точного дозирования подачи горючего газа с учетом состава и теплотворной способности подаваемого газообразного топлива. Это, с одной стороны, не позволяет обеспечить максимальное замещение жидкого нефтяного топлива газообразным топливом, а с другой - не позволяет осуществить точное ограничение температуры отработавших газов на требуемом уровне, что влечет за собой повышение тепловой напряженности деталей камеры сгорания дизеля и его выпускной системы и снижает надежность их работы и ресурс.

Наиболее близким к предлагаемому способу корректируемой подачи горючего газа в рабочие цилиндры газодизеля энергетической установки можно признать способ подачи горючего газа в рабочие цилиндры газодизеля, заключающийся в том, что газообразное топливо - попутный нефтяной газ (ПНГ) подают через впускную систему дизеля и его впускные клапаны в рабочие цилиндры, при этом запальная доза дизельного топлива (солярка) впрыскивается в рабочие цилиндры газодизеля механизмом подачи запальных доз жидкого топлива, связанным с регулятором газодизеля, а подачу ПНГ корректируют в зависимости от его состава (патент РФ №2465472, МПК F02D 19/08, опубл. 27.02.2012). При этом корректирование подачи ПНГ осуществляют по компьютерной программе с использованием информации, в том числе, от датчиков диэлектрических параметров веществ - диэлькометров, которых авторы называют датчиками контроля состава ПНГ и жидкого топлива. Для использования ПНГ можно приспособить практически любой дизель, т.к. конструктивные различия в разных его

моделях несущественны.

Однако дизелькометры являются достаточно сложными, неточными и поэтому малораспространенными датчиками, не выпускаемыми серийно. Поэтому и все изобретение-прототип скорее пока имеет узкий научный, а не широкий практический характер.

Кроме того, спецификой ПНГ является весьма малый процент присутствия диоксида углерода CO_2 в нем, в отличие от биогаза, где содержание CO_2 наоборот является весьма существенным и CO_2 обычно занимает второе место в биогазе после метана, а вдвоем они - метан и диоксид углерода, как правило, занимают подавляющую долю объема в биогазе, так как остальные примеси в биогазе занимают лишь единицы объемных процентов. При этом датчики CO_2 являются хорошо известными и широко распространенными с хорошими характеристиками по точности, надежности и стоимости.

Раскрытие изобретения

Технической задачей заявляемого способа корректируемой подачи горючего биогаза в рабочие цилиндры газодизеля энергетической установки является повышение точности корректирования подачи горючего биогаза и в связи с этим увеличение доли замещения жидкого нефтяного топлива газообразным топливом и ограничение температуры отработавших газов на уровне, характерном для работы на биогазе с низким содержанием метана в нем.

Технический результат достигается за счет того, что в способе корректируемой подачи горючего газа в рабочие цилиндры газодизеля газообразное топливо подают через впускную систему дизеля и его впускные клапаны в рабочие цилиндры, при этом запальная доза дизельного топлива впрыскивается в рабочие цилиндры газодизеля через форсунки механизмом подачи запальных доз жидкого топлива, связанным с регулятором газодизеля, а подачу горючего газа корректируют в зависимости от состава горючего газа. При этом корректирование подачи горючего газа - биогаза по процентному содержанию метана в биогазе осуществляют по косвенной оценке содержания метана с помощью измерений содержания диоксида углерода (углекислого газа) в биогазе на входе во впускную систему газодизеля и/или температуры отработавших газов на выходе из газодизеля.

Для увеличения доли замещения жидкого нефтяного топлива газообразным топливом и ограничения температуры отработавших газов на уровне, характерном для работы на биогазе с низким содержанием метана, при использовании биогаза с содержанием метана не менее 50% при увеличении содержания метана в биогазе на каждые 4...5% увеличивают массовую долю газообразного топлива на 4...5% и соответственно уменьшают долю запальной дозы дизельного топлива тоже на 4...5%.

Дополнительно для уменьшения подачи запальной дозы дизельного топлива горючий биогаз, подаваемый во впускную систему газодизеля, нагревают на 10...12 градусов за счет теплоты отработавших газов при уменьшении запальной дозы дизельного топлива на каждые 4...5% такого уменьшения.

Перечень фигур

Фиг.1. Схема системы топливоподачи для реализации предложенного способа подачи горючего биогаза в рабочие цилиндры газодизеля энергетической установки.

Фиг.2. Зависимость эффективной мощности N_e (а) и эффективного КПД η_e (б) дизеля от концентрации метана в биогазе C_{CH_4} на режимах регуляторной характеристики при различных частотах вращения n выходного вала газодизеля.

Фиг.3. Зависимость эффективного КПД дизеля η_e от нагрузки (эффективной мощности N_e) и содержания метана в биогазе C_{CH_4}

Фиг.4. Зависимость температуры отработавших газов T_{OG} от содержания метана в биогазе C_{CH_4} на режимах регуляторной характеристики при различных частотах вращения n (а) и от эффективного КПД η_e газодизеля при постоянных концентрациях метана в биогазе C_{CH_4} и изменении скоростного режима (б).

Фиг.5. Изменение параметров газодизеля при изменении содержания метана в биогазе C_{CH_4} .

Осуществление изобретения

Способ подачи горючего газа в цилиндры газодизеля энергетической установки осуществляют, например, на газодизельной установке на фиг.1.

Установка содержит отсечной клапан 1, к которому подведен трубопровод биогаза от баллона с сжатым биогазом (на фиг.1 не показан), редуктор 2 давления биогаза, впускную систему 3 газодизеля с регулятором - клапаном 4 подачи газа, датчиком 5 расхода биогаза и отсечным клапаном 6, размещенными во впускном патрубке 7 компрессора 8 системы газотурбинного наддува. Выпускной патрубок 9 компрессора через наддувочный ресивер 10 и впускные клапаны 11 сообщен с рабочими цилиндрами 12 газодизеля 13 через каналы подогревателя 14, оборудованного регулятором температуры с датчиком температуры биогаза 15 и исполнительным устройством - клапаном 16 подачи отработавших газов в подогреватель 14, управляемым от электронного блока 17. Подогрев биогаза после компрессора осуществляется за счет теплоты отработавших газов, поступающих из выпускной системы 18 газодизеля 13 по газовой магистрали 19, в которой размещен клапан 16. Выпускная система 18 содержит также размещенные в крышках 20 выпускные клапаны 21, сообщающие рабочие цилиндры 12 с выпускным коллектором 22.

Подсистема подачи запальной дозы дизельного топлива включает механизм 23 подачи запальных доз жидкого топлива, связанный с регулятором газодизеля (исполнительным устройством 24 изменения подачи запальной дозы жидкого топлива), управляемым от электронного блока 17. Для воспламенения горючего биогаза газодизель 13 оборудован форсунками 25 подачи запальных доз жидкого топлива с нагнетательными трубопроводами 26.

Управление работой системы подачи газообразного и жидкого топлив осуществляется блоком управления 17, который получает информацию от датчика 27 содержания диоксида углерода CO_2 в биогазе, датчика 5 расхода биогаза, датчика 29 расхода запальной дозы жидкого топлива (датчика положения дозирующего органа механизма 23 подачи запальных доз жидкого топлива), датчика 15 температуры биогаза, датчика 28 температуры отработавших газов. Блок управления 17 вырабатывает управляющие сигналы на исполнительные устройства - отсечной клапан 6, клапан 16 подачи отработавших газов в подогреватель 14, исполнительное устройство 24 изменения подачи запальной дозы жидкого топлива.

Способ осуществляют следующим образом.

Запуск газодизеля 13 осуществляют по дизельному циклу с подачей жидкого топлива к форсункам 25 по нагнетательным трубопроводам 26. Для перехода на газодизельный цикл горючий биогаз под давлением подводится от баллона с сжатым биогазом (на фиг. 1 не показан) через отсечной клапан 1, редуктор 2 давления биогаза, впускную систему 3 газодизеля с клапаном 4, датчиком 5 и отсечным клапаном 6 во

впускной патрубок 7 компрессора 8 системы газотурбинного наддува.

Проходя вместе с воздухом через впускную систему 3 газодизеля, лопаточный аппарат и диффузор компрессора 8 горючий биогаз смешивается с воздухом. При этом образуется гомогенная газоздушная смесь, которая через размещенные в крышках 20 впускные клапаны 11 направляется в рабочие цилиндры 12 газодизеля 13. Эта газоздушная смесь обладает недостаточной самовоспламеняемостью в условиях рабочих цилиндров 12 газодизеля (температура самовоспламенения этой смеси существенно выше температуры самовоспламенения смеси воздуха с распыливаемым жидким дизельным топливом).

Таким образом реализуется газодизельный цикл, в котором указанная смесь горючего биогаза с воздухом воспламеняется от запальной дозы дизельного топлива, впрыскиваемой в рабочие цилиндры 12 газодизеля форсунками 25 подачи запальных доз жидкого топлива с нагнетательными трубопроводами 26, соединяющими форсунки 25 с механизмом 23 подачи запальных доз жидкого топлива, связанным с исполнительным устройством 24 изменения подачи запальной дозы жидкого топлива, управляемым от электронного блока 17.

В случае необходимости минимизации запальной дозы дизельного топлива возможен подогрев смеси горючего биогаза с воздухом. Для этого в выпускном патрубке 9 компрессора установлен подогреватель 14, имеющий регулятор температуры с датчиком температуры биогаза 15 и клапаном 16 подачи отработавших газов в подогреватель 14, управляемым от электронного блока 17. Подогретая до необходимой температуры смесь горючего биогаза с воздухом через наддувочный ресивер 10 и впускные клапаны 11 поступает в рабочие цилиндры 12 газодизеля. При этом подогрев биогаза после компрессора осуществляется за счет теплоты отработавших газов, поступающих из выпускной системы 18 газодизеля 13 по газовой магистрали 19 с клапаном 16. Отработавшие газы поступают в выпускную систему 18 через выпускные клапаны 21, сообщающие рабочие цилиндры 12 с выпускным коллектором 22.

Координация работы рассмотренных подсистем реализуется блоком управления 17 на основании сигналов от датчика 27 содержания диоксида углерода CO_2 в биогазе, датчика 5 расхода биогаза, датчика 29 расхода запальной дозы жидкого топлива, датчика 15 температуры биогаза, датчика 28 температуры отработавших газов. На основании информации от указанных датчиков с использованием базовых алгоритмов управления, заложенных в блоке управления 17, этот блок воздействует на исполнительные устройства соответствующих подсистем - отсечной клапан 6 подачи горючего биогаза, клапан 16 подачи отработавших газов в подогреватель 14, исполнительное устройство 24 изменения подачи запальной дозы жидкого топлива.

Анализ горючего биогаза, полученного из различного сырья и биоотходов на различных биогазовых установках для последующего использования в разного рода энергетических установках, в том числе с газодизельным оборудованием, показал, что этот биогаз может содержать различные компоненты, но в них практически всегда 2 компоненты главные: метан и углекислый газ (диоксид или двуокись углерода), существенные изменения содержания которых в биогазе, как правило, находятся в противофазе из-за малого объемного количества других компонент. Это дает практическую возможность, зная содержание CO_2 , простой арифметикой косвенно оценивать содержание CH_4 . Обычно биогаз имеет следующий состав: метан CH_4 - 50...85% по объему, диоксид углерода CO_2 соответственно - 10...45%, водород H_2 - до 1%, сероводород H_2S - до 1%, остальные примеси - около 3%. То есть компоненты

биогаза помимо CH_4 и CO_2 , как правило, имеют суммарный объем порядка 5%.

Таким образом, содержание метана в биогазе можно оценивать по содержанию CO_2 . Датчики содержания в газе диоксида углерода CO_2 применяются при газовом анализе (в частности, при оценке состава отработавших газов двигателей внутреннего сгорания). Использование таких датчиков позволяет повысить точность корректирования-подачи горючего - газа, поскольку содержание углекислого газа CO_2 в биогазе может изменяться более чем в четыре раза (от 10 до 45%). В результате с практически допустимой точностью (~5%), зная содержание CO_2 и принимая за константу 5% примесей, можно оценить объемное содержание CH_4 в биогазе ориентировочно как (95% - % содержание CO_2).

Основным горючим компонентом биогаза является метан CH_4 . Его содержание в биогазе может колебаться в диапазоне от 50 до 85%. Соответственно изменяется теплотворная способность биогаза. Анализ экспериментальных характеристик рабочих процессов газодизельного двигателя показал, что изменение содержания метана в биогазе приводит к существенному изменению показателей дизельного двигателя, работающего на биогазе. Исследования проводились на биогазе с концентрациями метана C_{CH_4} =60,0, 72,8; 77,4 и 84,8%. Теплота сгорания биогаза с различным объемным содержанием метана и приведена в таблице 1.

Содержание метана в биогазе, % (об.)	60,0	72,8	77,4	84,8
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	18,52	22,47	24,01	26,17

Оценка показателей работы дизельного двигателя при использовании в качестве топлива биогаза проведена с использованием результатов экспериментальных исследований дизеля 1 Ч 8/11 фирмы Lister-Peter (серия DELTA), некоторые технические характеристики которого представлены в таблице 2. Данный тип двигателей широко используется для привода насосных и электросиловых установок.

Параметры	Значение
Тип двигателя	Четырехтактный, дизельный
Номинальная частота вращения n , мин ⁻¹	1380
Номинальная мощность N_e , кВт	4,5
Тип камеры сгорания	Полуразделенная камера сгорания в поршне
Механизм газораспределения	Клапанного типа с верхним расположением клапанов
Система питания	Топливный насос высокого давления с центробежным регулятором

Экспериментальные исследования дизеля 1 Ч 8/11 проводились на стенде, оборудованном необходимой измерительной аппаратурой. Данные о параметрах дизеля в цифровом виде выводились на пульт управления. Основная модернизация дизеля состояла в оборудовании смесителя, встроенного во впускной коллектор двигателя. Это позволило использовать двигатель как в базовом варианте, так и газодизельной модификации. В этой связи детали и конструкция двигателя оставались неизменными.

Доля биогаза в топливе устанавливалась максимально возможной при условии сохранения устойчивости работы двигателя.

Испытания двигателя проводились на характерных нагрузочных и скоростных режимах его работы. Результаты проведенных испытаний сведены в таблицу 3.

Результаты обработки данных таблицы 3 представлены в виде графиков на фиг.2, 3, 4, 5.

Фиг.2. Зависимость эффективной мощности N_e (а) и эффективного КПД η_e (б) дизеля от концентрации метана в биогазе C_{CH_4} на режимах регуляторной характеристики при различных частотах вращения n : 1 - $n=1380 \text{ мин}^{-1}$; 2 - $n=1420 \text{ мин}^{-1}$; 3 - $n=1500 \text{ мин}^{-1}$; 4 - $n=1620 \text{ мин}^{-1}$

Фиг.3. Зависимость эффективного КПД дизеля η_e от нагрузки (эффективной мощности N_e) и содержания метана в биогазе. C_{CH_4} : 1 - работа на дизельном топливе; 2 - работа на биогазе с $C_{CH_4}=60,0\%$; 3 - $C_{CH_4}=72,8\%$; 4 - $C_{CH_4}=77,8\%$; 5 - $C_{CH_4}=84,8\%$

Фиг.4. Зависимость температуры отработавших газов T_{OG} от содержания метана в биогазе C_{CH_4} на режимах регуляторной характеристики при различных частотах вращения n (а) и от эффективного КПД η_e дизеля при постоянных концентрациях метана в биогазе C_{CH_4} и изменении скоростного режима (б): а: 1 - $n=1380 \text{ мин}^{-1}$; 2 - $n=1420 \text{ мин}^{-1}$; 3 - $n=1500 \text{ мин}^{-1}$; 4 - $n=1620 \text{ мин}^{-1}$;

б: 1 - $C_{CH_4}=60,0\%$; 2 - $C_{CH_4}=72,8\%$; 3 - $C_{CH_4}=77,8\%$; 4 - $C_{CH_4}=84,8\%$.

Фиг.5. Изменение параметров дизеля при изменении содержания метана в биогазе C_{CH_4} :

N_e - эффективная мощность двигателя; G_T - доля замещения ДТ [%, масс.];

T_{OG} - температура отработавших газов;

G_d - цикловая подача дизельного топлива;

G_T - цикловая подача горючего биогаза

(сплошные линии - эксперимент, см. таблицу 3; пунктирные линии - рекомендуемые значения параметров)

Основным параметром, характеризующим экономичность работы дизеля, является эффективный КПД η_e , показывающий насколько полно теплота, полученная при сгорании того или иного топлива, преобразована в механическую работу, отдаваемую потребителю. Эффективный КПД позволяет сравнивать параметры двигателей, работающих на различных видах топлива.

Таблица 3

Зависимость показателей работы дизеля от концентрации метана в биогазе

Частота вращения n , мин^{-1}		1620	1580	1560	1540	1520	1500	1480	1460	1420	1380
Мощность N_e [кВт] при концентрации метана в биогазе C_{CH_4} [%, масс.]	ДТ	0,58	1,46	1,82	2,30	2,78	3,25	3,52	3,82	4,28	4,42
	$C_{CH_4}=60,0$	0,58	1,26	1,69	1,86	2,23	2,73	3,20	3,42	3,50	3,62
	$C_{CH_4}=72,8$	0,59	1,16	1,28	1,73	2,26	2,79	3,12	3,26	3,73	4,12
	$C_{CH_4}=77,8$	0,59	1,18	1,52	1,76	2,29	2,82	3,20	3,33	3,81	4,23
	$C_{CH_4}=84,8$	0,59	1,18	1,53	1,74	2,30	2,84	3,12	3,37	3,84	4,34
Доля замещения ДТ [%, масс.] при концентрации метана в биогазе C_{CH_4} [%, масс.]	ДТ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$C_{CH_4}=60,0$	69,5	69,0	72,0	72,2	72,0	70,5	66,5	66,0	65,5	65,2
	$C_{CH_4}=72,8$	80,0	82,0	83,0	82,0	83,0	83,0	84,0	84,0	84,0	82,0
	$C_{CH_4}=77,8$	82,0	84,0	86,0	85,0	85,0	86,0	85,0	86,0	85,0	83,0
	$C_{CH_4}=84,8$	83,0	85,0	88,0	89,0	88,0	88,0	88,0	88,0	86,0	84,0
Эффективный КПД η_e [%] при концентрации метана в биогазе	ДТ	12,6	15,8	17,5	21,1	22,9	25,6	26,1	26,8	27,9	27,9
	$C_{CH_4}=60,0$	15,6	24,1	30,9	34,3	36,5	39,0	39,3	40,0	40,1	41,2
	$C_{CH_4}=72,8$	16,9	24,4	25,6	28,7	32,5	35,1	38,2	39,6	39,9	40,1

C _{CH4} [%, масс.]	C _{CH4} =77,8	17,0	25,2	27,3	29,1	31,1	36,8	38,4	39,5	38,4	37,8
	C _{CH4} =84,8	16,1	26,2	26,9	29,1	30,8	33,8	35,2	36,6	36,7	35,4
Температура ОГ T _{ОГ} [К] при концентрации метана в биогазе C _{CH4} [%, масс.]	C _{CH4} =60,0	572	595	612	632	652	682	722	732	753	773
	C _{CH4} =72,8	593	603	643	703	723	743	773	793	833	863
	C _{CH4} =77,8	594	633	653	683	733	753	783	813	843	853
	C _{CH4} =84,8	550	613	621	648	681	737	763	802	854	897

При обработке результатов экспериментальных исследований расчет эффективного КПД η_e дизеля проводился с учетом различной теплотворной способности используемых топлив по выражению:

$$\eta_e = \frac{3,6N_e}{H_{U_{см}}(G_{дт} + G_{г})},$$

где $H_{U_{см}}$ - теплота сгорания условной смеси подаваемого топлива, МДж/кг; N_e - эффективная мощность двигателя, кВт. Теплота сгорания смеси подаваемых в КС топлив определялась соотношением часовых расходов дизельного топлива $G_{дт}$ и биогаза $G_{г}$ [кг/ч] и их теплотворной способностью по соотношению:

$$H_{U_{см}} = \frac{G_{дт}}{G_{\Sigma}} \cdot H_{U_{дт}} + \frac{G_{г}}{G_{\Sigma}} \cdot H_{U_{г}},$$

где $H_{U_{дт}}$, $H_{U_{г}}$ - теплота сгорания соответственно дизельного топлива и биогаза, МДж/кг.

Увеличение концентрации метана CH_4 в биогазе обеспечивает большее значение выходной мощности газодизеля. Наиболее ощутимо влияние концентрации метана на выходную мощность происходит при высоких нагрузках (фиг.2, а). Так, на режиме максимальной нагрузки при частоте вращения $n=1380 \text{ мин}^{-1}$ увеличение концентрации метана в биогазе C_{CH4} с 60,0 до 84,8% приводит к увеличению максимальной мощности N_e с 3,6 до 4,3 кВт (на 16%). На режиме с частотой вращения $n=1420 \text{ мин}^{-1}$ и нагрузкой около 90% от полной нагрузки рост концентрации метана в биогазе C_{CH4} с 60,0 до 84,8% приводит к увеличению мощности от 3,5 до 3,8 кВт (на 8%). На режиме с частотой вращения $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ при нагрузке около 65% от полной рост концентрации метана C_{CH4} с 60,0 до 84,8% сопровождается ростом мощности с 2,7 до 2,8 кВт, т.е. на 3,6%.

При малых нагрузках изменение концентрация метана в биогазе не оказывает существенного влияния на эффективные показатели дизеля. На фиг.2, б показано влияние концентрации метана в биогазе C_{CH4} на эффективный КПД газодизеля η_e на различных режимах регуляторной характеристики. Как следует из представленных данных, повышение концентрации метана в биогазе C_{CH4} приводит к снижению эффективного КПД η_e при высоких нагрузках и не оказывает заметного влияния на η_e при низких нагрузках. Так на режиме с частотой вращения $n=1380 \text{ мин}^{-1}$ и максимальной нагрузкой увеличение концентрации метана в биогазе C_{CH4} с 60,0 до 84,8% приводит к уменьшению эффективного КПД η_e с 41,2 до 35,4%. На режиме с частотой вращения $n=1420 \text{ мин}^{-1}$ и нагрузкой около 90% от полной увеличение концентрации метана C_{CH4} с 60,0 до 84,8% приводит к снижению КПД η_e с 40,1 до 36,7%. При частоте вращения

$n=1620 \text{ мин}^{-1}$ и нагрузке около 15% от полной рост концентрации метана C_{CH_4} с 60,0 до 84,8%, напротив, приводит к увеличению КПД η_e с 15,6 до 16,0%. Максимальные значения эффективного КПД η_e отмечены на режимах с высокими и средними

5 нагрузками при частотах вращения $n < 1500 \text{ мин}^{-1}$.

На фиг.3 приведены данные по эффективному КПД газодизеля η_e для условий его работы по дизельному и газодизельному циклам при различных концентрациях метана в биогазе, C_{CH_4} . Подача в камеру сгорания (КС) биогаза, с содержанием метана
 10 $C_{\text{CH}_4}=60,0\%$, позволяет поднять максимальное значение КПД η_e с 27,9 до 41,2% (см. фиг.3, характеристики 1 и 2). Но удельный эффективный расход топлива при работе на дизельном топливе был ниже на $\Delta g_e=50 \text{ (г/кВт}\cdot\text{ч)}$. Такое противоречие объясняется низкой теплотворностью биогаза из-за наличия в нем 40% негорючих газов (в частности, CO_2) и только 60% приходится на метан CH_4 . Существенное увеличение КПД η_e при
 15 использовании биогаза вместо дизельного топлива вероятно связано с существенным улучшением процесса смесеобразования, что характерно для малоразмерных дизелей с низким давлением впрыскивания. Подача в камеру сгорания (КС) биогаза с концентрацией метана $C_{\text{CH}_4}=72,8$ позволяет поднять максимальное значение КПД η_e
 20 с 27,9 до 40,1% (см. фиг.3, характеристики 1 и 3), при $C_{\text{CH}_4}=77,8\%$ КПД η_e возрос до 37,8% (см. фиг.3, характеристики 1 и 4), а при $C_{\text{CH}_4}=84,8\%$ - до 37,8% (см. фиг.3, характеристики 1 и 5). Результаты проведенных исследований подтверждают наличие зависимости показателей дизеля от концентрации метана в биогазе C_{CH_4} . Поэтому
 25 возникает необходимость оптимизации состава биогаза. При такой оптимизации следует учитывать основные показатели двигателя, не допуская перехода за их предельные значения.

К основным показателям относятся эффективный КПД дизеля η_e и температура отработавших газов (ОГ) $T_{\text{ОГ}}$. Последний показатель является очень важным, поскольку
 30 при переводе дизеля на биогаз температура ОГ может заметно увеличиваться. Характеристики эффективного КПД газодизеля η_e рассмотрены выше (см. фиг.2, б и 3), а характеристики температуры отработавших газов $T_{\text{ОГ}}$ представлены на фиг.4. Данные на фиг.4, а свидетельствуют о том, что при росте нагрузки (при уменьшении частоты вращения n на режимах регуляторной характеристики) температура ОГ
 35 существенно возрастает и достигает значения $T_{\text{ОГ}}=897 \text{ К}$ (кривая 1 на фиг.4, а при $C_{\text{CH}_4}=84,8\%$).

Таким образом, при оптимизации состава биогаза исследуемого дизеля необходимо обеспечить максимальную эффективность работы двигателя (максимальные значения эффективного КПД η_e) при ограничениях, накладываемых на температуру отработавших
 40 газах $T_{\text{ОГ}}$. Следует отметить, что с ростом нагрузки (с уменьшением частоты вращения n на режимах регуляторной характеристики) эффективность процесса сгорания повышается, что сопровождается одновременным увеличением эффективного КПД дизеля η_e и температуры ОГ $T_{\text{ОГ}}$ (фиг.4, б). Причем, если при работе исследуемого
 45 двигателя по дизельному циклу (только на дизельном топливе) предельная температура ОГ достигает уровня $T_{\text{ОГ}}=800 \text{ К}$, то, как отмечено выше, при работе двигателя по газодизельному циклу (на биогазе с запальной дозой ДТ) максимальная температура

ОГ возрастает до $T_{OG}=897$ К. Это может привести к перегреву деталей КС дизеля и, в первую очередь, его выпускных клапанов и выходу двигателя из строя. Поэтому возникает противоречие между стремлением к повышению эффективного КПД дизеля η_e и необходимостью ограничения температуры ОГ T_{OG} .

Анализ данных фиг.4, а, б показывает, что ограничение температуры ОГ на уровне $T_{OG}=800$ К, характерном для базового дизеля, достигается только при использовании биогаза с содержанием метана $C_{CH_4}=60,0\%$. При использовании биогаза с содержанием метана $C_{CH_4}=72,8; 77,8$ и $84,8\%$ это ограничение не обеспечивается.

При использовании биогаза с различным содержанием метана необходимо обеспечить ограничение температуры отработавших газов на уровне, характерном для работы на биогазе с низким содержанием метана. Для этого предлагается при изменении содержания метана в горючем биотопливе уменьшать запальную дозу дизельного топлива на $4...5\%$ на каждые $4...5\%$ увеличения массового содержания метана в биогазе (в рассмотренном выше дизеле - от $0,010$ до $0,005$ г/цикл при изменении содержания метана в горючем биотопливе от 60 до 85% , см. фиг.5). При этом массовая цикловая подача горючего биогаза должна увеличиваться на $4...5\%$ при увеличении массового содержания метана в биогазе на $4...5\%$ (в рассмотренном выше дизеле - от $0,020$ до $0,023$ г/цикл при изменении содержания метана в горючем биотопливе от 60 до 85% , см. фиг.5). Такое изменение цикловых подач горючего биогаза и запальной дозы дизельного топлива обеспечит постоянство температуры ОГ на уровне, характерном для работы на биогазе с низким содержанием метана (в рассматриваемом дизеле - на уровне 773 К, см. фиг.5). Указанные значения запальных доз дизельного топлива выбраны из условия обеспечения стабильного воспламенения рабочей смеси. Меньшие значения запальных доз дизельного топлива не позволяют организовать стабильную работу газодизельного двигателя. Но в этом случае ее можно обеспечить путем подогрева горючего биогаза, подаваемого в рабочие цилиндры газодизеля. Причем, нагрев горючего газа осуществляется в подогревателе, установленном после компрессора, за счет теплоты отработавших газов. Анализ экспериментальных характеристик ряда газодизельных двигателей показал, что нагрев биогаза в подогревателе на $10...12$ град. позволяет уменьшить запальную дозу дизельного топлива на $4...5\%$ без ухудшения воспламеняемости рабочей смеси.

Предложенный способ может найти широкое применение в таких отраслях промышленности, как транспортное и сельскохозяйственное двигателестроение, судостроение, малая энергетика и др. Описание заявки с достаточной полнотой содержит сведения о том, как использовать предложенный способ с достижением того положительного эффекта, который указан в техническом результате. Приведенные в описании заявки экспериментальные данные подтверждают достижимость технического результата и еще раз доказывают возможность практического использования заявляемого способа подачи горючего биогаза в рабочие цилиндры газодизеля энергетической установки. Это говорит о соответствии предложенного способа критерию «Промышленная применимость».

Формула изобретения

1. Способ корректируемой подачи горючего газа в рабочие цилиндры газодизеля, в котором газообразное топливо подают через впускную систему газодизеля и его впускные клапаны в рабочие цилиндры, при этом запальная доза дизельного топлива впрыскивается в рабочие цилиндры газодизеля форсунками, соединенными с механизмом подачи запальных доз жидкого топлива, связанным с регулятором газодизеля, а подачу

горючего газа корректируют в зависимости от состава горючего газа, отличающийся тем, что корректирование подачи горючего газа - биогаза по процентному содержанию метана в биогазе осуществляют по косвенной оценке содержания метана с помощью измерений содержания диоксида углерода в биогазе на входе во впускную систему газодизеля и/или температуры отработавших газов на выходе из газодизеля.

5 2. Способ по п.1, отличающийся тем, что при использовании биогаза с содержанием метана не менее 50% при увеличении содержания метана в биогазе на каждые 4...5% увеличивают массовую долю газообразного топлива на 4...5% и соответственно уменьшают долю запальной дозы дизельного топлива тоже на 4...5%.

10 3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что горючий биогаз, подаваемый во впускную систему газодизеля, нагревают на 10...12 градусов за счет теплоты отработавших газов при уменьшении запальной дозы дизельного топлива на каждые 4...5% такого уменьшения.

15

20

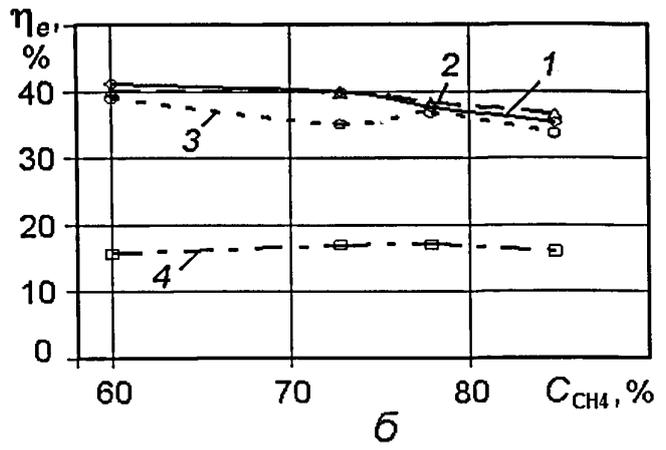
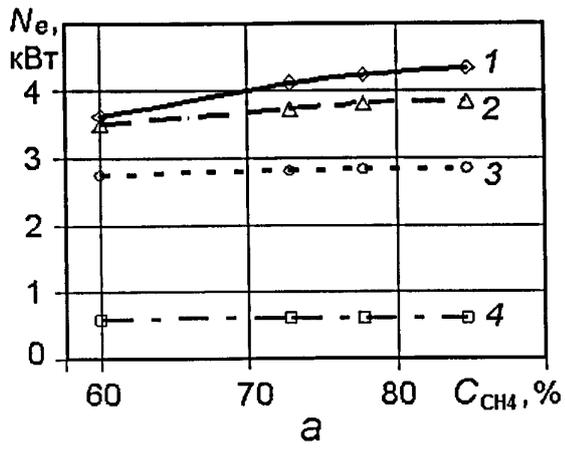
25

30

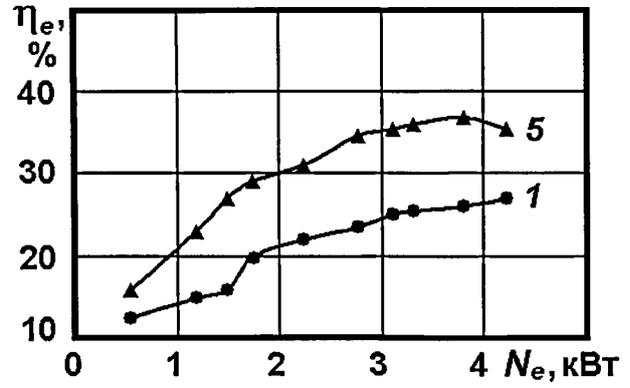
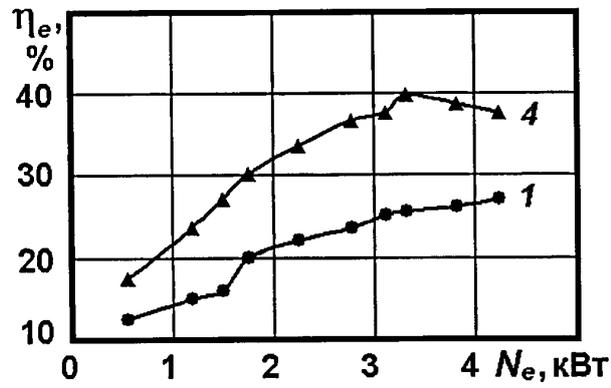
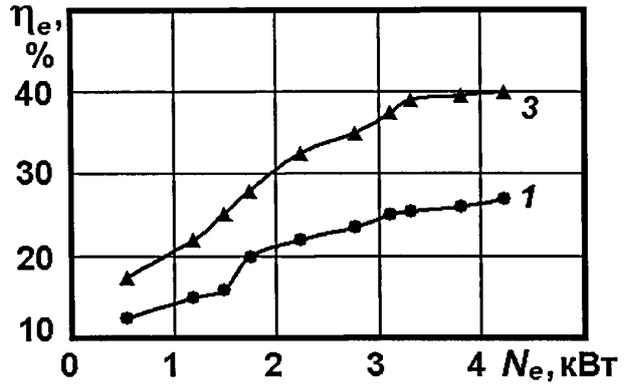
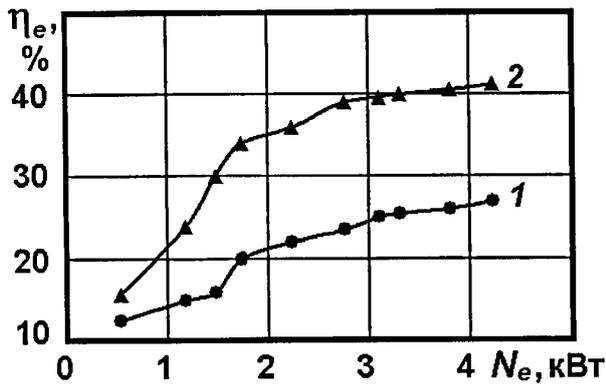
35

40

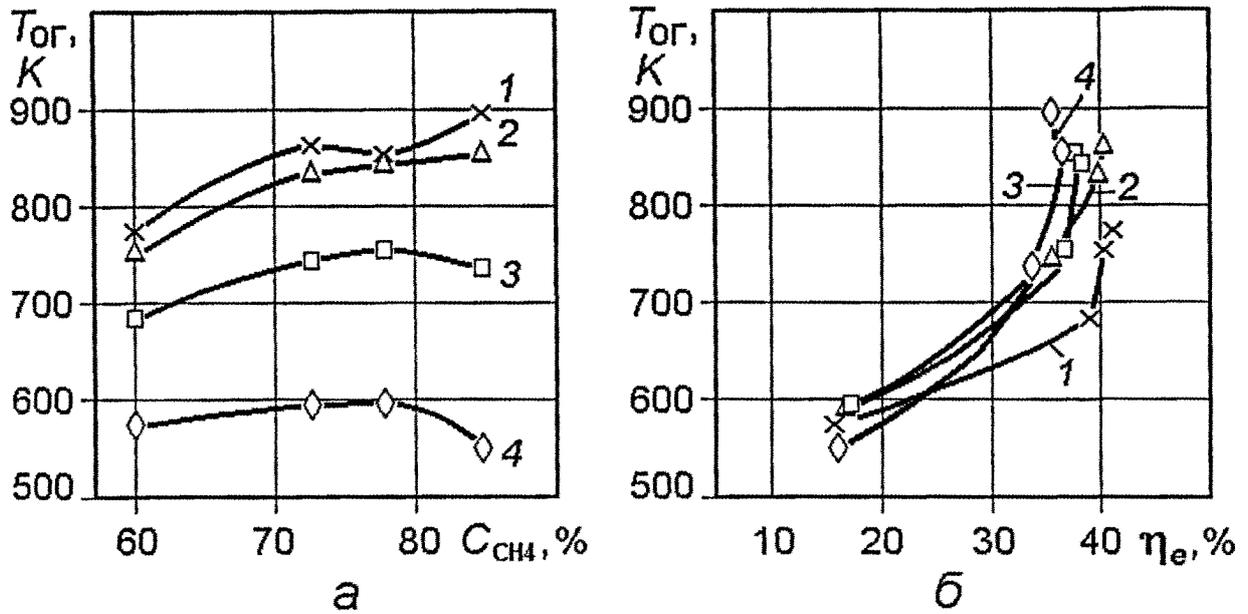
45



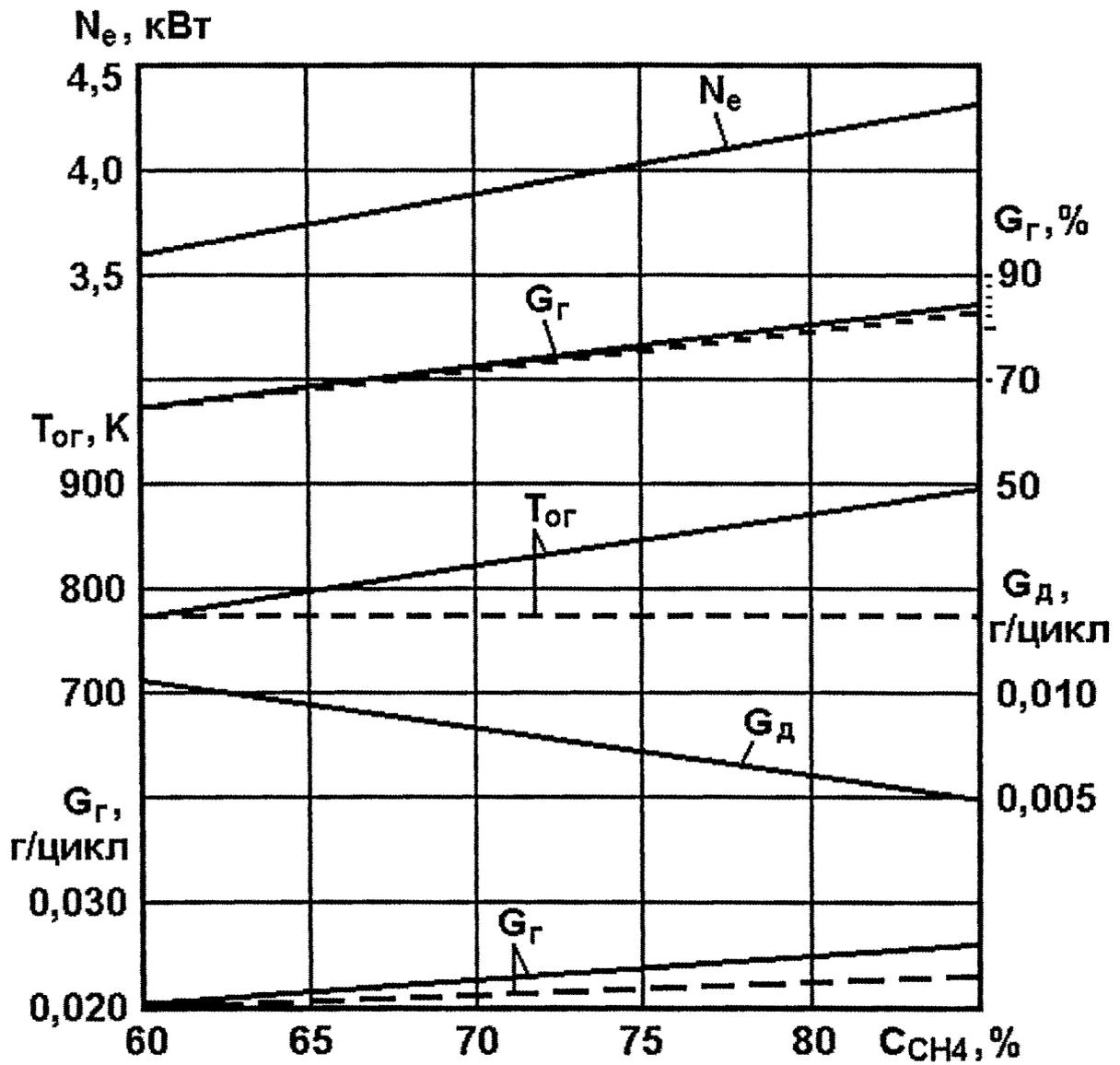
Фиг.2



Фиг.3



Фиг. 4



Фиг.5