

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038390**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.08.20

(51) Int. Cl. *F02C 9/26* (2006.01)
F02C 3/34 (2006.01)

(21) Номер заявки
201891894

(22) Дата подачи заявки
2017.02.23

(54) **СИСТЕМА И СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ**

(31) **62/300,504**

(32) **2016.02.26**

(33) **US**

(43) **2019.03.29**

(86) **PCT/IB2017/051050**

(87) **WO 2017/145094 2017.08.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
8 РИВЕРЗ КЭПИТЛ, ЛЛК (US)

(72) Изобретатель:
Фетведт Джереми Эрон (US)

(74) Представитель:
**Веселицкая И.А., Веселицкий М.Б.,
Кузенкова Н.В., Каксис Р.А., Белоусов
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В.,
Соколов Р.А., Кузнецова Т.В. (RU)**

(56) EP-A2-1698829
US-A1-2014053529
US-A-4735052
WO-A1-2014151656

(57) В настоящем изобретении описаны системы и способы, подходящие для управления одним или более аспектами работы энергетической установки. Более конкретно, описаны энергетические установки, способы запуска таких установок и способы выработки энергии такими установками, причем для автоматизированного управления по меньшей мере одним аспектом используется один или более трактов управления. Более конкретно, описаны энергетические установки, системы управления для таких установок и способы их запуска.

B1

038390

038390

B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к системам и способам управления различными аспектами работы энергетической установки. Более конкретно, в системах и способах могут использоваться различные сигналы и функции для управления давлениями, температурами, потоками текучих сред, переключателями, клапанами и т.п. на стадиях запуска, работы и выключения энергетической установки.

Уровень техники

По мере того как по всему миру растет потребность в выработке электрической энергии, по-прежнему актуальна проблема создания установок, вырабатывающих дополнительную энергию, для удовлетворения этой потребности. В связи с требованиями рынка необходимо, чтобы такая выработка энергии осуществлялась с максимально возможной эффективностью, однако повышающиеся требования к улавливанию углерода требуют новых, более совершенных, технических решений. Например, в патенте US 8,596,075, выданном Alam и др., содержание которого включается ссылкой в настоящую заявку, для обеспечения необходимой эффективности предлагаются системы сжигания топлива с кислородом, в которых используется поток рециркуляционного CO₂, отбираемый как поток сравнительно чистого CO₂ высокого давления. Такие усовершенствованные системы выработки энергии требуют новых подходов в управлении, которые до настоящего времени не были разработаны. Соответственно, существует потребность в других системах и способах, подходящих для управления различными аспектами работы энергетических установок, особенно установок, выполненных для высокоэффективной выработки энергии с одновременным, по существу полным, улавливанием углерода.

Сущность изобретения

В настоящем изобретении предлагаются системы и способы для выработки энергии, в которых для автоматизированного управления одной или более операциями используется один или более трактов (каналов) управления. Автоматизированное управление может осуществляться на основе различных входных сигналов, вычисленных величин, заранее заданных величин, логических функций, компьютерных программ или входных параметров компьютерных программ.

В одном или более вариантах настоящее изобретение может относиться к системе управления для энергетической установки (установки для выработки энергии). Например, система управления может содержать последовательность логических операций для регулирования расхода (потока), приспособленную для выбора наименьшей величины из сигнала ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА для расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания, и сигнала ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ для температуры на входе турбины, и для регулирования одного или обоих из массы и давления топлива, поступающего из системы подачи топлива в камеру (устройство) сгорания. В других вариантах система управления для энергетической установки может быть описана в отношении одного или нескольких нижеуказанных положений, которые могут быть объединены в любом количестве и в любом порядке.

Система управления может содержать: сигнал ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, передающий текущую мощность энергетической установки в заданный момент времени; и сигнал ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ, передающий требуемую мощность энергетической установки в этот же момент времени; причем система управления сконфигурирована для вычисления разности сигнала ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ и сигнала ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ и преобразования этой разности в сигнал ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА.

Система управления может вырабатывать сигнал ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ как выбор наибольшей величины из множества сигналов вычисленной температуры, каждую из которых получают в результате выполнения различных стандартных программ вычисления температуры на входе турбины.

Система управления может быть приспособлена для регулирования отношения масс или объемов топлива, поступающего по двум или более разным топливным линиям (далее - трубопроводам) из системы подачи топлива в камеру сгорания.

Система управления может быть приспособлена для открытия/закрытия трубопроводной арматуры (далее для краткости - клапаны) регулирования расхода в каждом из двух или более различных топливных трубопроводов.

Система управления может быть приспособлена для открытия/закрытия по меньшей мере одного клапана регулирования давления в каждом из двух или более различных топливных трубопроводов.

Система управления может быть приспособлена для регулирования отношения масс или объемов окислителя, поступающего по двум или более разным трубопроводам окислителя из системы подачи окислителя в камеру сгорания.

Энергетическая установка может содержать, по меньшей мере, группу основных линий (трубопроводов) топлива и окислителя и группу вспомогательных трубопроводов топлива и окислителя, и система управления приспособлена для регулирования отношения топлива к окислителю в группе основных трубопроводов топлива и окислителя независимо от отношения топлива к окислителю в группе вспомогательных трубопроводов топлива и окислителя.

Энергетическая установка может содержать трубопровод, по которому обеспечивается поток рециркуляционного CO₂, часть которого вводится в один или более трубопроводов окислителя, и система

управления приспособлена для регулирования концентрации кислорода в одном или более трубопроводах окислителя путем регулирования количества рециркуляционного CO_2 , вводимого в трубопровод окислителя.

Концентрация кислорода в каждом из одного или более трубопроводов окислителя может регулироваться независимо от остальных трубопроводов окислителя.

Система управления может быть приспособлена для регулирования отношения масс или объемов окислителя, подаваемого по основному трубопроводу и вспомогательному трубопроводу.

Система управления может быть приспособлена для закрытия клапана регулирования расхода в основном топливном трубопроводе из системы подачи топлива в камеру сгорания, так что, по существу, топливо не поступает по основному топливному трубопроводу, и для открытия клапана регулирования расхода во вспомогательном топливном трубопроводе из системы подачи топлива в камеру сгорания, так что, по существу, все топливо, поступающее в камеру сгорания, подается по вспомогательному топливному трубопроводу.

Система управления может быть приспособлена для регулирования отношения масс или объемов топлива, подаваемого по основному топливному трубопроводу и вспомогательному топливному трубопроводу.

Система управления может быть приспособлена для обеспечения конфигурации клапана регулирования расхода в основном топливном трубопроводе и клапана регулирования расхода во вспомогательном топливном трубопроводе во время запуска энергетической установки и для синхронизации открытия клапана в основном топливном трубопроводе в соответствии с рабочим состоянием одного или обоих из турбины и компрессора, повышающего давление потока рециркуляционного CO_2 , поступающего в камеру сгорания.

Система управления может быть приспособлена для удерживания на одном уровне или уменьшения массы или объема топлива, поступающего по меньшей мере по одному из двух или более различных топливных трубопроводов из системы подачи топлива в камеру сгорания в ответ на входной сигнал, указывающий на то, что рабочая температура теплообменника приближается или превышает заранее заданную максимальную рабочую температуру или скорость повышения температуры.

В одном или более вариантах настоящее изобретение может также относиться к энергетической установке. Например, энергетическая установка по настоящему изобретению может содержать: камеру сгорания; турбину; генератор; систему подачи топлива; систему подачи окислителя; систему управления, содержащую множество трактов управления для автоматизированного управления по меньшей мере одной операцией в работе энергетической установки, причем система управления содержит: тракт управления, приспособленный для выработки сигнала управления, который представляет собой функцию сравнения сигнала ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА для расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания, и сигнала ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ для температуры на входе турбины, причем тракт управления содержит последовательность логических операций для выбора меньшей величины из сигнала ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА и сигнала ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ, и вырабатываемый сигнал управления используется для регулирования одного или обоих из массы и давления топлива, поступающего из системы подачи топлива в камеру сгорания. В других вариантах энергетическая установка может быть описана в отношении одного или нескольких нижеуказанных положений, которые могут быть объединены в любом количестве и в любом порядке.

Сигнал ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА может представлять собой функцию сравнения сигнала ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, передающего текущую мощность энергетической установки в заданный момент времени, и сигнала ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ, передающего требуемую мощность установки в этот же момент времени.

Система управления может быть сконфигурирована для выработки сигнала ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ как выбора наибольшей величины из множества сигналов вычисленной температуры, каждую из которых получают в результате выполнения различных стандартных программ вычисления температуры на входе турбины.

Система подачи топлива может содержать по меньшей мере два независимо управляемых топливных трубопровода, сконфигурированных для подачи топлива в камеру сгорания.

Система подачи топлива может содержать по меньшей мере один клапан регулирования расхода и по меньшей мере один клапан регулирования давления в каждом из указанных по меньшей мере двух независимо управляемых топливных трубопроводов.

Система подачи окислителя содержит по меньшей мере два независимо управляемых трубопровода окислителя, сконфигурированных для подачи окислителя в камеру сгорания.

Система подачи окислителя может содержать по меньшей мере один клапан регулирования расхода в каждом из указанных по меньшей мере двух независимо управляемых трубопроводов окислителя.

Система подачи окислителя может содержать элемент регулирования отношения масс или объемов, сконфигурированный для регулирования отношения масс или объемов окислителя, подаваемого по указанным по меньшей мере двум независимо управляемым трубопроводам окислителя.

Энергетическая установка может быть сконфигурирована таким образом, что один из указанных по

меньшей мере двух независимо управляемых трубопроводов окислителя представляет собой вспомогательный трубопровод окислителя, содержащий датчик расхода, и один из указанных по меньшей мере двух независимо управляемых топливных трубопроводов представляет собой вспомогательный топливный трубопровод, содержащий датчик расхода, и система управления содержит элемент регулирования отношения, сконфигурированный для открытия или закрытия клапана регулирования расхода во вспомогательном трубопроводе окислителя на основе массового или объемного расхода топлива во вспомогательном топливном трубопроводе.

В дополнительных вариантах настоящее изобретение может также относиться к способам запуска энергетической установки. Например, такие способы могут включать выполнение последовательности сигналов управления, в котором: по меньшей мере, частично, открывают клапан расхода во вспомогательном топливном трубопроводе, так что топливо начинает поступать из источника топлива в камеру сгорания, в то время как, по существу, никакого топлива не поступает из источника топлива в камеру сгорания по основному топливному трубопроводу; по меньшей мере, частично, открывают клапан расхода во вспомогательном трубопроводе окислителя, так что окислитель начинает поступать из источника окислителя в камеру сгорания, в то время как по существу никакого окислителя не поступает из источника окислителя в камеру сгорания по основному трубопроводу окислителя; турбину разгоняют от первой скорости до второй, более высокой, скорости; после разгона турбины до по меньшей мере второй скорости отношение расхода топлива в основном топливном трубопроводе к расходу топлива во вспомогательном топливном трубопроводе регулируют таким образом, что клапан в основном топливном трубопроводе открывают, и топливо из источника топлива поступает в камеру сгорания по основному топливному трубопроводу; и после разгона турбины до по меньшей мере второй скорости отношение расхода окислителя в основном трубопроводе окислителя к расходу окислителя во вспомогательном трубопроводе окислителя регулируют таким образом, что клапан в основном трубопроводе окислителя открывают и окислитель из источника окислителя поступает в камеру сгорания по основному трубопроводу окислителя.

Настоящее изобретение охватывает, без ограничения, следующие варианты его осуществления.

Вариант 1: система управления для энергетической установки, содержащая: последовательность логических операций для регулирования расхода, приспособленную для выбора наименьшей величины из сигнала ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА для расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания, и сигнала ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ для температуры на входе турбины, и для регулирования одного или обоих из массы и давления топлива, поступающего из системы подачи топлива в камеру сгорания.

Вариант 2: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, содержащая: сигнал ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, передающий текущую мощность энергетической установки в заданный момент времени; и сигнал ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ, передающий требуемую мощность энергетической установки в этот же момент времени; причем система управления сконфигурирована для вычисления разности сигнала ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ и сигнала ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ и преобразования разности в сигнал ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА.

Вариант 3: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем система управления вырабатывает сигнал ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ как выбор наибольшей величины из множества сигналов вычисленной температуры, каждую из которых получают в результате выполнения различных стандартных программ вычисления температуры на входе турбины.

Вариант 4: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем система управления приспособлена для регулирования отношения масс или объемов топлива, подаваемого по двум или более различным топливным трубопроводам из системы подачи топлива в камеру сгорания.

Вариант 5: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем система управления приспособлена для открытия/закрытия клапанов регулирования расхода в каждом из двух или более различных топливных трубопроводов.

Вариант 6: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем система управления приспособлена для открытия/закрытия по меньшей мере одного клапана регулирования давления в каждом из двух или более различных топливных трубопроводов.

Вариант 7: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем система управления приспособлена для регулирования отношения масс или объемов окислителя, подаваемого по двум или более различным трубопроводам окислителя из системы подачи окислителя в камеру сгорания.

Вариант 8: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем энергетическая установка содержит по меньшей мере группу основных трубопроводов топлива и окислителя и группу вспомогательных трубопроводов топлива и окислителя, и

система управления приспособлена для регулирования отношения топлива к окислителю в группе основных трубопроводов топлива и окислителя независимо от отношения топлива к окислителю в группе вспомогательных трубопроводов топлива и окислителя.

Вариант 9: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем энергетическая установка содержит трубопровод, по которому обеспечивается поток рециркуляционного CO_2 , часть которого вводят в один или более трубопроводов окислителя, и система управления приспособлена для регулирования концентрации кислорода в одном или более трубопроводов окислителя путем регулирования количества рециркуляционного CO_2 , вводимого в трубопровод окислителя.

Вариант 10: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем концентрация кислорода в каждом из одного или более трубопроводов окислителя регулируется независимо от остальных трубопроводов окислителя.

Вариант 11: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем система управления приспособлена для регулирования отношения масс или объемов окислителя, поступающего по основному трубопроводу окислителя и вспомогательному трубопроводу окислителя.

Вариант 12: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем система управления приспособлена для закрытия клапана регулирования расхода в основном топливном трубопроводе из системы подачи топлива в камеру сгорания, так что, по существу, топливо не поступает по основному топливному трубопроводу, и для открытия клапана регулирования расхода во вспомогательном топливном трубопроводе из системы подачи топлива в камеру сгорания, так что, по существу, все топливо, поступающее в камеру сгорания, поступает по вспомогательному топливному трубопроводу.

Вариант 13: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем система управления приспособлена для регулирования отношения масс или объемов топлива, поступающего по основному топливному трубопроводу и вспомогательному топливному трубопроводу.

Вариант 14: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем система управления приспособлена для обеспечения конфигурации клапана регулирования расхода в основном топливном трубопроводе и клапана регулирования расхода во вспомогательном топливном трубопроводе во время запуска энергетической установки и для синхронизации открытия клапана в основном топливном трубопроводе в соответствии с рабочим состоянием одного или обоих из турбины и компрессора, повышающего давление потока рециркуляционного CO_2 , поступающего в камеру сгорания.

Вариант 15: система управления для энергетической установки по любому предыдущему или последующему варианту, причем система управления приспособлена для удерживания на одном уровне или уменьшения массы или объема топлива, поступающего по меньшей мере по одному из двух или более различных топливных трубопроводов из системы подачи топлива в камеру сгорания в ответ на входной сигнал, указывающий на то, что рабочая температура теплообменника приближается или превышает заранее заданную максимальную рабочую температуру или скорость повышения температуры.

Вариант 16: энергетическая установка, содержащая: камеру сгорания; турбину; генератор; систему подачи топлива; систему подачи окислителя; систему управления, содержащую множество трактов управления для автоматизированного управления по меньшей мере одной операцией в работе энергетической установки, причем система управления содержит: тракт управления, приспособленный для выработки сигнала управления, который представляет собой функцию сравнения сигнала ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА для расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания, и сигнала ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ для температуры на входе турбины, причем тракт управления содержит последовательность логических операций для выбора меньшей величины из сигнала ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА и сигнала ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ, и вырабатываемый сигнал управления используется для регулирования одного или обоих из массы и давления топлива, поступающего из системы подачи топлива в камеру сгорания.

Вариант 17: энергетическая установка по любому предыдущему или последующему варианту, в которой сигнал ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА представляет собой функцию сравнения сигнала ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, передающего текущую мощность энергетической установки в заданный момент времени, и сигнала ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ, передающего требуемую мощность установки в этот же момент времени.

Вариант 18: энергетическая установка по любому предыдущему или последующему варианту, в которой система управления сконфигурирована для выработки сигнала ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ как выбора наибольшей величины из множества сигналов вычисленной температуры, каждую из которых получают в результате выполнения различных стандартных программ вычисления температуры на входе турбины.

Вариант 19: энергетическая установка по любому предыдущему или последующему варианту, в ко-

торой система подачи топлива содержит по меньшей мере два независимо управляемых топливных трубопровода, сконфигурированных для подачи топлива в камеру сгорания.

Вариант 20: энергетическая установка по любому предыдущему или последующему варианту, в которой система подачи топлива содержит по меньшей мере один клапан регулирования расхода и по меньшей мере один клапан регулирования давления в каждом из указанных по меньшей мере двух независимо управляемых топливных трубопроводов.

Вариант 21: энергетическая установка по любому предыдущему или последующему варианту, в которой система подачи окислителя содержит по меньшей мере два независимо управляемых трубопровода окислителя, сконфигурированных для подачи окислителя в камеру сгорания.

Вариант 22: энергетическая установка по любому предыдущему или последующему варианту, в которой система подачи окислителя содержит по меньшей мере один клапан регулирования расхода в каждом из указанных по меньшей мере двух независимо управляемых трубопроводов окислителя.

Вариант 23: энергетическая установка по любому предыдущему или последующему варианту, в которой система подачи окислителя содержит элемент регулирования отношения масс или объемов, сконфигурированный для регулирования отношения масс или объемов окислителя, поступающего по указанным по меньшей мере двум независимо управляемым трубопроводам окислителя.

Вариант 24: энергетическая установка по любому предыдущему или последующему варианту, в которой один из указанных по меньшей мере двух независимо управляемых трубопроводов окислителя представляет собой вспомогательный трубопровод окислителя, содержащий датчик расхода, и один из указанных по меньшей мере двух независимо управляемых топливных трубопроводов представляет собой вспомогательный топливный трубопровод, содержащий датчик расхода, и система управления содержит элемент регулирования отношения, сконфигурированный для открытия или закрытия клапана регулирования расхода во вспомогательном трубопроводе окислителя на основе массового или объемного расхода топлива во вспомогательном топливном трубопроводе.

Вариант 25: способ запуска энергетической установки, включающий выполнение последовательности сигналов управления, в котором: по меньшей мере частично открывают клапан расхода во вспомогательном топливном трубопроводе, так что топливо начинает поступать из источника топлива в камеру сгорания, в то время как, по существу, никакого топлива не поступает из источника топлива в камеру сгорания по основному топливному трубопроводу; по меньшей мере, частично, открывают клапан расхода во вспомогательном трубопроводе окислителя, так что окислитель начинает поступать из источника окислителя в камеру сгорания, в то время как, по существу, никакого окислителя не поступает из источника окислителя в камеру сгорания по основному трубопроводу окислителя; турбину разгоняют от первой скорости до второй, более высокой, скорости; после разгона турбины по меньшей мере до второй скорости отношение расхода топлива в основном топливном трубопроводе к расходу топлива во вспомогательном топливном трубопроводе регулируют таким образом, что клапан в основном топливном трубопроводе открывают и топливо из источника топлива поступает в камеру сгорания по основному топливному трубопроводу; и после разгона турбины по меньшей мере до второй скорости отношение расхода окислителя в основном трубопроводе окислителя к расходу окислителя во вспомогательном трубопроводе окислителя регулируют таким образом, что клапан в основном трубопроводе окислителя открывают и окислитель из источника окислителя поступает в камеру сгорания по основному трубопроводу окислителя.

Эти и другие признаки, аспекты и достоинства настоящего изобретения станут очевидными после ознакомления с нижеприведенным подробным описанием со ссылками на прилагаемые чертежи, краткое описание которых приведено ниже. Изобретение включает любые комбинации двух, трех, четырех или более вышеуказанных вариантов, а также комбинации любых двух, трех, четырех или более признаков или элементов, указанных в описании, независимо от того, указана или нет комбинация таких признаков или элементов в описании конкретных вариантов. Описание необходимо воспринимать во всей его целостности, так что любые отдельные признаки или элементы описанного изобретения в любых его аспектах и вариантах должны рассматриваться как сочетаемые, если в описании явно не указано иное.

Краткое описание чертежей

Далее используются ссылки на прилагаемые чертежи, которые могут быть выполнены без соблюдения масштаба и на которых показано:

на фиг. 1 - блок-схема энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 2 - блок-схема, на которой показаны тракты управления, используемые системой управления при осуществлении работы энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 3 - блок-схема системы газообразного топлива (ГТ) и некоторых элементов управления этой системой, которые используются в энергетической установке в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4А - лист 1 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, в установившемся режиме и при необходимости регулирования

энергии, вырабатываемой энергетической установкой в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4Б - лист 2 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при инициализации запуска энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4В - лист 3 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при инициализации проворачивания колеса турбины и опорного уровня инвертера с естественной коммутацией во время запуска энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4Г - лист 4 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при проворачивании колеса турбины и зажигания во время запуска энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4Д - лист 5 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при зажигании во время запуска энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4Е - лист 6 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при обеспечении потребности в топливе во время запуска энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4Ж - лист 7 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, для защиты теплообменника и расчета соотношения реагентов горения для энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4З - лист 8 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при синхронизации генератора энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4И - лист 9 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при расчете входной температуры турбины энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4К - лист 10 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при управлении клапанами, управляющими давлением топлива и заданными величинами давления выхлопного потока в энергетической установке в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4Л - лист 11 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при установлении заданных значений давления выходящего окислителя в энергетической установке в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4М - лист 12 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при определении температур охлаждения лопаток турбины и заданных величин расхода в энергетической установке в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4Н - лист 13 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при управлении осевым давлением турбины энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 4О - лист 14 последовательности функциональных блок-схем, на котором показаны тракты управления, используемые, например, при управлении продувочными потоками трубопровода подачи топлива в энергетической установке в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 5 - блок-схема, содержащая множество функциональных компонентов и элементов управления для энергетической установки в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения.

Подробное описание осуществления изобретения

Вышеизложенная сущность изобретения далее будет описана более полно со ссылкой на иллюстративные варианты его осуществления. Эти иллюстративные варианты представлены так, чтобы данное описание было законченным и исчерпывающим, полностью раскрывающим объем изобретения для специалиста в данной области техники. На самом деле изобретение может быть реализовано во многих различных формах и не должно рассматриваться ограниченным нижеописанными вариантами, тем более что эти варианты представлены прежде всего для того, чтобы данное описание удовлетворяло всем действующим нормативным требованиям. Формы единственного числа, использованные в описании и в прилагаемой формуле изобретения, не исключают множественного числа, если только в явной форме не указано иное.

Настоящее изобретение относится к системам и способам, предназначенным для управления одним или несколькими действиями при осуществлении работы энергетической установки. Настоящее изобретение также относится к энергетическим установкам, содержащим различные элементы, включая такие

системы управления. Неограничивающие примеры элементов, которые могут быть включены в энергетическую установку по настоящему изобретению, описаны в патентах US№ 8,596,075, 8,776,532, 8,959,887, 8,986,002, 9,068,743 и в публикациях патентных заявок US№ 2010/0300063, 2012/0067054, 2012/0237881 и 2013/0213049, содержание которых вводится ссылкой в настоящую заявку.

В одном или нескольких вариантах энергетическая установка может содержать некоторую комбинацию элементов, показанных на фиг. 1, хотя следует понимать, что могут быть включены также и другие элементы. Как показано на фиг. 1, энергетическая установка 100 может содержать камеру 111 сгорания, выполненную для приема топлива из устройства 115 подачи топлива и окислителя из устройства 120 подачи окислителя. Топливо может поступать из устройства 115 подачи топлива по основному топливному трубопроводу 116 и/или по вспомогательному топливному трубопроводу 117. Устройство 115 подачи топлива и топливные трубопроводы 116, 117 могут формировать топливную систему. Аналогично, окислитель может поступать из устройства 120 подачи окислителя по основному трубопроводу 121 окислителя и/или по вспомогательному трубопроводу 122 окислителя. Устройство 120 подачи окислителя и трубопроводы 121, 122 окислителя могут формировать систему подачи окислителя. Хотя показано множество топливных трубопроводов и трубопроводов окислителя, следует понимать, что может использоваться лишь один топливный трубопровод и/или один трубопровод окислителя. Аналогично, может использоваться более двух топливных трубопроводов и/или более двух трубопроводов окислителя. Топливо сжигается в камере 111 сгорания с окислителем в присутствии потока рециркуляционного CO₂, обеспечиваемого по трубопроводу 160, и/или по трубопроводу 121 в смеси с окислителем, и/или по трубопроводу 122 в смеси с окислителем. Поток продуктов сгорания по трубопроводу 112 поступает в турбину 125, где расширяется для выработки энергии в присоединенном генераторе 130. Хотя камера 111 сгорания и турбина 125 показаны как отдельные элементы, следует понимать, что в некоторых вариантах турбина может быть интегрирована в камеру сгорания. Иначе говоря, отдельный турбинный блок может содержать секцию сгорания и секцию расширения. Соответственно, указание в описании направления потоков в камеру сгорания может также пониматься как направление потоков в турбину, сконструированную как для сжигания топлива, так и для расширения продуктов сгорания.

Поток 126, выходящий из турбины, охлаждается в теплообменнике 135. Хотя показан один теплообменник 135, следует понимать, что теплообменник может быть отдельным блоком с множеством секций, работающих в разных диапазонах температур. Аналогично, может использоваться множество отдельных теплообменников, работающих в разных диапазонах температур. Воду отделяют во влагоотделителе 140 и выводят по трубопроводу 141 для получения потока 145, по существу, чистого CO₂ (хотя часть потока может быть выведена из установки и/или направлены в другие ее части (например, для охлаждения турбины) или в другие трубопроводы (например, для соединения с окислителем и/или с топливом). Давление потока 145 рециркуляционного CO₂ повышают в многоступенчатом компрессоре, содержащем компрессор 151 первой ступени, компрессор 155 второй ступени и промежуточный охладитель 153. Может быть использован один или несколько дополнительных компрессоров или насосов. Кроме того, компрессор необязательно должен быть многоступенчатым. Поток сжатого рециркуляционного CO₂ в трубопроводе 160 направляют обратно через теплообменник в камеру сгорания. Весь поток рециркуляционного CO₂ или часть его из трубопровода 160 может быть направлена непосредственно в камеру 111 сгорания. Как показано на фиг. 1, весь поток рециркуляционного CO₂ или часть его по трубопроводам 161, 161a и 161b может быть введена в один или в оба из основного трубопровода 121 окислителя и вспомогательного трубопровода 122 окислителя. Хотя это не показано, следует понимать, что вместо этого или дополнительно к этому один или оба из трубопроводов 161 и 161b могут обеспечивать CO₂ в один или в оба из топливных трубопроводов 116, 117.

Рассматриваемая энергетическая установка содержит также систему 170 управления, которая имеет множество трактов управления (CP1, CP2, CP3 и CP4), выполненные для обеспечения автоматизированного управления по меньшей мере одной операции при осуществлении работы энергетической установки. Каждый тракт управления может быть выполнен для генерации по меньшей мере одного управляющего сигнала (SIG 1, SIG 2, SIG 3 и SIG 4), которые приводят к выполнению одного или нескольких ответных действий. Неограничивающие примеры таких ответных действий могут включать выполнение стандартной программы, выполнение функции математических вычислений, выполнение логической функции, изменение состояния клапана, изменение массового расхода текучей среды, изменение давления потока текучей среды, генерацию дополнительного управляющего сигнала и т.п. Один тракт управления может быть выполнен для генерации одного управляющего сигнала или может быть выполнена для генерации множества сигналов. Кроме того, энергетическая установка может содержать одну систему управления или может содержать множество систем управления. Например, система 170 управления может быть распределенной системой управления (DCS, от англ. Distributed Control System), которая может быть сконфигурирована для управления сверху донизу всеми компонентами энергетической установки. В случае необходимости один или несколько элементов энергетической установки могут иметь отдельную систему управления, которая может работать совместно с DCS или, по существу, независимо от нее. Например, система управления турбиной (TCS, от англ. Turbine Control System) может работать независимо от DCS. Кроме того, DCS может передавать сигналы в TCS (и, наоборот) для обеспечения

различных функций способов выработки энергии. Соответственно, энергетическая установка может содержать одну систему управления, или же энергетическая установка может содержать множество систем управления. Кроме того, одна система управления может содержать одну или несколько подсистем управления. На фиг. 1 система 170 управления может быть TCS, и система управления может содержать отдельную DCS.

Система или системы управления могут быть сконфигурированы для решения различных задач управления. В частности, в некоторых вариантах система управления может относиться к способам управления выходной мощностью энергетической установки. В некоторых вариантах система управления может относиться к способам управления расходом топлива /или расходом окислителя в системе выработки энергии. В некоторых вариантах система управления может, в частности, относиться к управлению, обеспечивающему работу системы в установившемся режиме. Неограничивающие примеры характеристик установившихся режимов, обеспечиваемых отдельными трактами управления и/или сигналами управления, включают устройства непрерывного контроля температуры на входе турбины и соответствующие тревожные устройства, сигналы потребности в окислителе, охлаждающий поток кожуха и его температура, охлаждающий поток форсунки и его температура, охлаждающий поток лопаток и его температура, управление разгрузочным поршнем и защита теплообменника. В одном или в нескольких вариантах может использоваться в различных комбинациях множество трактов управления и/или управляющих сигналов. Например, при запуске установки может использоваться множество трактов управления и управляющих сигналов для обеспечения безопасного и эффективного перехода энергетической установки из состояния выключения в состояние работы. В частности, запуск может быть осуществлен с использованием множества промежуточных рабочих точек, причем должны быть достигнуты надлежащим образом необходимые рабочие условия каждой такой точки, прежде чем система управления разрешит переход к следующей промежуточной точке. Таким образом, система управления может быть сконфигурирована таким образом, чтобы она обеспечивала выполнение множества стадий в определенной последовательности для достижения определенного результата. Соответственно, настоящее изобретение может в частности обеспечивать один или несколько способов для управления одним или несколькими аспектами цикла сжигания топлива для выработки энергии.

Функции управления, рассмотренные в настоящем описании, могут в частности относиться к специфическим изменениям одного или нескольких режимов работы системы выработки энергии в ответ на управляющий сигнал, передаваемый из элемента управления в функциональный компонент системы выработки энергии. Например, функция управления может включать открытие и/или закрытие одного или нескольких клапанов, повышение или снижение давления в конкретном трубопроводе, повышение или снижение расхода в трубопроводе, повышение или снижение давления в компрессоре или в насосе и т.п. Таким образом, изменения режима работы могут выполняться в ответ на управляющий сигнал, переданный элементом управления. Далее, управляющий сигнал может вырабатываться элементом управления в соответствии с входным сигналом от одного или нескольких датчиков, таких как, например, датчик давления, датчик расхода, датчик уровня и датчик температуры.

В одном или в нескольких вариантах выходная мощность системы выработки энергии может регулироваться с использованием величины потребной мощности в качестве управляющего сигнала. Таким образом, настоящее изобретение может относиться к системе управления, содержащей один или более трактов управления для системы выработки энергии, а также к системе и к способу, подходящим для реализации трактов управления. Варианты реализации подходящих трактов управления показаны на фиг. 2. Тракты управления, показанные на фиг. 2, показаны также и на фиг. 4А (лист 1). Тракты управления, показанные на фиг. 2, иллюстрируют варианты, в которых потоки топлива и/или окислителя могут быть переключены (автоматически или вручную) между двумя или более трубопроводами, например между основным топливным трубопроводом (трубопровод с высоким расходом топлива) и вспомогательным топливным трубопроводом (или трубопроводом с низким расходом топлива) или между основным трубопроводом окислителя (трубопровод с высоким расходом окислителя) и вспомогательным трубопроводом окислителя (или трубопроводом с низким расходом окислителя). Тракты управления обеспечивают возможность использования изменяемых соотношений между соответствующими расходами в соответствующих трубопроводах. Например, система управления может содержать один или более трактов, специально приспособленных для управления количеством топлива, которое подается по основному топливному трубопроводу (116 на фиг. 1) и по вспомогательному топливному трубопроводу (117 на фиг. 1) и/или один или более трактов, специально приспособленных для управления количеством окислителя, которое подается по основному трубопроводу окислителя (121 на фиг. 1) и по вспомогательному трубопроводу окислителя (122 на фиг. 1). Управление расходом топлива и/или расходом окислителя может включать открытие и закрытие одного или более клапанов в ответ на управляющий сигнал от элемента управления. Управляющий сигнал может вырабатываться элементом управления в соответствии с входным сигналом от одного или более датчиков. В частности, в конкретных вариантах такое управление может использоваться при запуске энергетической установки и/или в переходный период между запуском и штатным (нормальным) режимом работы. Термин "штатный режим работы", как он используется в настоящем описании, может означать, что камера сгорания работает, турбина и основные компрессоры

синхронизированы, и турбина работает на скорости, достаточной для работы генератора для выработки энергии.

Показанные на фиг. 2 сигналы ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ 202 и ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ 204 могут вырабатываться системой DCS и системой управления генератором (GCS, от англ. Generator Control System), соответственно. Сигнал ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ передает величину выходной мощности, которая необходима в заданный момент времени, а сигнал ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ передает фактическую величину выходной мощности в заданный момент времени, измеренной средствами генератора. Сигнал ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ сравнивается с сигналом ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, и разность, вычисленная на стадии 206, может использоваться для выработки сигнала ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА. Таким образом, последовательность управляющих операций организована для преобразования сигнала ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ в сигнал расхода топлива, который может обеспечивать варьирование отношений расходов топлива в основном топливном трубопроводе и во вспомогательном топливном трубопроводе. На стадии 208 определяется сигнал ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА, или в другом варианте может быть сконфигурирована функция мощность/расход для выработки традиционного сигнала, задающего базовый ход рабочего органа топливного клапана (FSR, от англ. Fuel Stroke Reference). Например, функция на стадии 208 может принимать значение от 0 до 100% вместо величины расхода топлива, как это было указано выше. Если используется режим FSR, то нижеуказанный контроллер может быть установлен в режим ручного управления. Сигнал ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА, определяемый функцией на стадии 208, может быть модифицирован в соответствии с одним или более дополнительными требованиями на стадии 210. Например, сигнал ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА может быть модифицирован в соответствии с сигналом потребности в топливе, таком как сигнал ТОПЛИВО ПУСКА из процесса запуска. Во время запуска сигнал ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ может быть, по существу, равен нулю, и, соответственно, сигнал ТОПЛИВО ПУСКА будет определять требование к расходу топлива. После перехода от запуска к следующему этапу сигнал ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ будет увеличиваться, и сигнал ТОПЛИВО ПУСКА, в конечном счете, уменьшится до нуля. Таким образом, расход топлива автоматически регулируется по мере изменения сигнала ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ.

Сигнал ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА, вырабатываемый на стадии 208 тракта управления, показанного на фиг. 2, может быть считан одним или множеством контроллеров. Кроме того, сигнал ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА может применяться в отношении множества различных топливных трубопроводов и трубопроводов окислителя, которое может варьироваться в зависимости от количества топливных трубопроводов, используемых в энергетической установке. Как показано на фиг. 1 система управления содержит: тракт, по которому осуществляется управление расходом топлива через регулирующий клапан в основном трубопроводе (например, в трубопроводе 116 на фиг. 1); тракт, по которому осуществляется управление расходом топлива через регулирующий клапан во вспомогательном трубопроводе (например, в трубопроводе 117 на фиг. 1); тракт, по которому осуществляется управление расходом окислителя через вспомогательный трубопровод (например, трубопровод 122 на фиг. 1); и тракт, по которому осуществляется определение сигнала потребности в окислителе, используемого для управления расходом окислителя через основной трубопровод (например, трубопровод 121 на фиг. 1). Хотя термины "основной топливный трубопровод", "вспомогательный топливный трубопровод", "основной трубопровод окислителя" и "вспомогательный трубопровод окислителя" могут использоваться в общем случае для различения множества топливных трубопроводов и трубопроводов окислителя, эти термины могут указывать фактически на конкретное назначение этих трубопроводов. Например, в некоторых вариантах основной топливный трубопровод и основной трубопровод окислителя могут быть приспособлены, соответственно, для подачи основной части потока топлива и/или потока окислителя в камеру сгорания в нормальном режиме работы энергетической установки, в то время как вспомогательный топливный трубопровод и вспомогательный трубопровод окислителя могут быть приспособлены для подачи потока топлива и/или потока окислителя в основном в процессе запуска энергетической установки. В то время как на фиг. 1 показаны два топливных трубопровода и два трубопровода окислителя, следует понимать, что в изобретении могут использоваться два или более топливных трубопровода и два или более трубопровода окислителя (например, три, четыре, пять или более трубопроводов). В некоторых вариантах потребные расходы топлива и/или окислителя могут быть разделены в соответствии с коэффициентом разделения (SPLIT-FRAC), обеспечиваемым системой TCS (будет описано ниже).

Системы управления в соответствии с настоящим изобретением могут также рассчитывать расходы топлива и/или окислителя, по меньшей мере, частично, на основе температуры на входе турбины (ТИТ, от англ. Turbine Inlet Temperature), вырабатывающей энергию (элемент 125 на фиг. 1). В тракте управления, показанном на фиг. 2, вычисленная температура на входе турбины (ВЫЧИСЛЕННАЯ ТИТ) может быть входным параметром на стадии 212, и эту температуру сравнивают с максимальной температурой на входе турбины (МАКС. ТИТ), входным параметром на стадии 214, который может быть задан заранее, например, на основе предельных режимов работы турбины или других компонентов системы выработки энергии (например, на основе предельных режимов работы теплообменника). Разность, вычисленная на стадии 216, сравнивается с сигналом ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА, который дополнительно (но не

обязательно) корректируется на стадии 210, и меньшая величина является выходной на стадии 218 для использования в других трактах управления, показанных на фиг. 2.

В верхнем тракте управления на фиг. 2 используется меньшая величина, выбранная на стадии 218, для вычисления расхода топлива через клапан управления потоком топлива для трубопровода с высоким расходом, то есть, для основного топливного трубопровода 116 на фиг. 1. Выбранная меньшая величина, полученная на стадии 218, корректируется в соответствии с сигналом разделения (SPLIT FRAC), который вырабатывается, как это указывается в настоящем описании. Величину SPLIT FRAC вычитают из 1, и полученный результат умножают на стадии 220 на меньшую величину, выбранную на стадии 218. В иллюстративном варианте режима запуска автоматический переключатель в тракте управления может быть закрыт после получения "нулевого" сигнала из генератора сигналов (см. стадию 222 на фиг. 2). Таким образом, сигнал в тракте управления может быть снижен до нуля, так что клапан 232 управления расходом (FCV-FH) в топливном трубопроводе с высоким расходом, закрывается, и, соответственно, по этому трубопроводу топливо, по существу, не подается. Таким образом, сигнал всего потребного расхода в топлива передается по второму тракту управления, так что, по существу, весь поток топлива подается по топливному трубопроводу с малым расходом, управление которым осуществляет клапан 246 управления потоком (FCV-FL). Управляющие сигналы, вырабатываемые в этом случае, могут быть адаптированы для открытия/закрытия клапана FCV-FH управления потоком в трубопроводе с высоким расходом и/или клапана FCV-FL управления потоком в трубопроводе с малым расходом. Такое открытие и закрытие клапанов в топливных трубопроводах (например, в трубопроводах 116 и 117 на фиг. 1) может быть ступенчатым для обеспечения необходимой величины массового или объемного расхода. Независимо от режима работы клапаны управления расходом топлива (FCV-FH и FCV-FL) предпочтительно сконфигурированы таким образом, чтобы они реагировали на сигнал ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ с его последующими модификациями, показанными на схеме фиг. 2. Таким образом, в конечном счете, сигнал ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ может действовать для увеличения и/или уменьшения количества топлива, поступающего в камеру сгорания по любому топливному трубопроводу.

Генератор сигналов будет обеспечивать на стадии 222 нулевой сигнал до тех пор, пока не будет получен сигнал РЕЖИМ, который вырабатывается, как это будет указано в настоящем описании. Сигнал РЕЖИМ может быть любым сигналом, который указывает, что процесс выработки энергии находится в состоянии, когда необходима подача топлива по трубопроводу с высоким расходом. Например, как это уже указывалось, во время запуска может быть необходимо обеспечивать поток топлива только по трубопроводу с малым расходом. Как только будет обеспечен заданный набор рабочих характеристик, может быть выработан сигнал РЕЖИМ, и может начинаться подача топлива по трубопроводу с высоким расходом. В этот момент на стадии 222 автоматический переключатель будет обеспечивать использование в тракте управления величины, вычисленной на стадии 220. Затем осуществляется сравнение этой вычисленной величины с фактическим расходом 228 топлива (РАСХОД-FH) по трубопроводу с высоким расходом, который измеряется датчиком расхода 226 (указывается на схемах FT, от англ. Flow Transducer). Затем разность, полученная на стадии 224, передается через автоматический переключатель на стадии 230. Эта величина будет использоваться для управления клапаном FCV-FH 232, пока условия работы установки не приведут к выработке сигнала прекращения подачи топлива (сигнал СТОП ТОПЛИВО), например, в случае нарушения нормальной работы энергетической установки. Если вырабатывается сигнал СТОП ТОПЛИВО, то сигнал расхода на стадии 230 переключается на нуль, так что топливо не будет подаваться через клапан FCV-FH 232. В других вариантах клапан FCV-FH 232 будет открываться/закрываться автоматически для обеспечения массового или объемного расхода, вычисленного в вышеописанном тракте управления.

В аналогичном тракте управления меньшая величина, выбранная на стадии 218, может использоваться для автоматического управления потоком топлива по топливному трубопроводу с малым расходом, путем открытия и закрытия клапана FCV-FL 246 управления этого трубопровода. В частности, автоматический переключатель на стадии 234 может переключать на использование МЕНЬШЕЙ ВЕЛИЧИНЫ, полученной на стадии 218, так что топливо подается только по топливному трубопроводу с малым расходом, через клапан FCV-FL 246. Как и в предыдущем случае, сигнал коэффициента разделения (SPLIT FRAC) может обеспечивать включение автоматическим переключателем функцию умножения МЕНЬШЕЙ ВЕЛИЧИНЫ на SPLIT FRAC. Какая бы величина не была на выходе стадии 234, она сравнивается с фактическим расходом топлива, проходящего по топливному трубопроводу с малым расходом, который измеряется датчиком расхода (величина РАСХОД-FL 238). Затем разность, полученная на стадии 240, передается по умолчанию через автоматический переключатель на стадии 242. Однако автоматический переключатель может включать заранее заданную величину расхода, если контроллер вырабатывает сигнал, указывающий на воспламенение в камере сгорания, то есть, сигнал ЗАЖИГАНИЕ ТОПЛИВА. Заранее заданный расход может быть любой величиной, однако он обычно может поддерживаться на сравнительно низком уровне, так что основная часть потока топлива поступает по топливному трубопроводу с высоким расходом при нормальной работе установки, то есть, после воспламенения топливной смеси в камере сгорания. Как и в предыдущем случае, тракт управления подачей топлива с малым расходом также включает автоматический переключатель на стадии 244, так что расход задается

равным нулю, когда вырабатывается сигнал СТОП ТОПЛИВО. В других вариантах клапан FCV-FL 246 будет открываться/закрывается автоматически для обеспечения массового или объемного расхода, вычисленного для вышеописанного тракта управления.

Управление расходом окислителя, поступающего в камеру сгорания по трубопроводу окислителя с малым расходом (например, по трубопроводу 122 на фиг. 1), также может осуществляться частично на основе тракта управления топливным трубопроводом с малым расходом. Этот тракт управления расходом окислителя исходно определяется сигналом смещения (LOW BIAS), который вырабатывается для задания исходного потока окислителя по трубопроводу с малым расходом, и сигналом отношения расходов (EQ-RATIO), который вырабатывается для задания величины суммарного расхода окислителя, распределяемого по разным трубопроводам окислителя. На стадии 248 сигнал LOW BIAS и сигнал EQ-RATIO суммируются, и полученная величина используется в качестве делителя для величины, получаемой на выходе стадии 234 в тракте управления топливным трубопроводом с малым расходом. На стадии 252 вычисляется отношение расходов топлива и окислителя в трубопроводах с малым расходом, и затем это отношение сравнивается на стадии 258 с фактическим расходом окислителя по трубопроводу окислителя с малым расходом (стадия 256), который измеряется датчиком 254 расхода. Отношение расходов может быть получено на основе массовых расходов материалов, проходящих по соответствующим трубопроводам (например, в кг/с), или же оно может быть получено на основе объемных расходов материалов, проходящих по соответствующим трубопроводам (например, в куб. м/с). Разность, полученная на стадии 258, передается на стадию 260, где автоматический переключатель по умолчанию включает использование этой разности, полученной на стадии 258. Однако автоматический переключатель может вместо этого включить заранее заданную величину расхода, если контроллер вырабатывает сигнал, указывающий на воспламенение окислителя в камере сгорания, то есть, сигнал ЗАЖИГАНИЕ ОХ-LF. Заранее заданный расход может быть любой величиной, однако он обычно может поддерживаться на сравнительно низком уровне, так что основная часть потока окислителя поступает по трубопроводу окислителя с высоким расходом при нормальной работе установки, то есть, после воспламенения топливной смеси в камере сгорания. Таким образом, клапан FCV-OL 262 в трубопроводе окислителя малого расхода будет открываться/закрывается автоматически для обеспечения массового или объемного расхода, вычисленного для вышеописанного тракта управления.

Управление расходом окислителя по трубопроводу окислителя с высоким расходом может осуществляться по выделенному тракту управления, аналогичному вышеописанному тракту управления расходом по трубопроводу окислителя с малым расходом. Однако в некоторых вариантах может вырабатываться сигнал ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ОКИСЛИТЕЛЯ, который передается в DCS для управления открытием и закрытием клапана управления расходом окислителя для трубопровода окислителя с высоким расходом. Как показано на фиг. 2, МЕНЬШАЯ ВЕЛИЧИНА, получаемая на стадии 218, может быть разделена на коэффициент EQ-RATIO, указанный выше в связи со стадией 248. После этого на стадии 266 могут быть выполнены вычисления для определения отношения суммарного расхода топлива по всем топливным трубопроводам к суммарному расходу окислителя по всем трубопроводам окислителя. Затем результаты вычислений на стадии 266 передаются в форме сигнала 268 в DCS. Затем может быть автоматически рассчитан расход окислителя по трубопроводам окислителя с высоким расходом на основе сигнала ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ОКИСЛИТЕЛЯ и расхода через клапан FCV-OL 262, который рассчитывается, как это уже было описано. Отношение суммарных расходов может быть получено на основе массовых расходов материалов, проходящих по соответствующим трубопроводам (например, в кг/с), или же оно может быть получено на основе объемных расходов материалов, проходящих по соответствующим трубопроводам (например, в куб. м/с).

Кроме того, отношения расходов топлива и окислителя могут быть рассчитаны на основе одного или более из расхода топлива, скорости вращения турбины, давлений в системе или других параметров, как это показано последовательностью функций, приведенной на фиг. 4Ж (лист 7), где: SPLIT-FRAC - коэффициент разделения для распределения расхода топлива между клапанами FCV-FH и FCV-FL; LO-BIAS - отношение расходов для трубопровода FCV-FL; и EQ-RATIO - отношение расхода топлива к расходу окислителя. Каждая из величин SPLIT-FRAC, LO-BIAS и EQ-RATIO вычисляется как функция суммарного массового или объемного расхода топлива по топливным трубопроводам, измеряемого датчиком расхода. Для каждой из указанных трех величин сигнал может быть смещен к заданной величине ("XX") генератором сигналов, пока не будет выработан сигнал готовности к переключению режима (ГОТОВН. К ПЕРЕКЛ. РЕЖ.), указывающий на подготовку к переходу от режима запуска к режиму нормальной работы. Таким образом, все величины SPLIT-FRAC, LO-BIAS и EQ-RATIO могут иметь начальные значения, определяемые соответствующими расходами по трубопроводам с малым расходом во время запуска энергетической установки. На листе 7 также приведены схемы стандартных вычислительных программ для предотвращения перегрева теплообменника. Например, в некоторых вариантах система TCS может быть сконфигурирована для удерживания на одном уровне или снижения расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания по одному или обоим топливным трубопроводам с высоким и малым расходами. Такое управление может осуществляться, по меньшей мере, частично, на основе сигнала обратной связи от одного или нескольких датчиков и/или от элемента управления, дополняющего TCS. В

некоторых вариантах такой сигнал обратной связи может вырабатываться, например, на основе величины предельного расхода. В других вариантах сигнал обратной связи может вырабатываться на основе входного параметра, такого как абсолютный предел по температуре, давлению, механическому напряжению или по другим параметрам. В некоторых вариантах сигнал обратной связи может указывать уровень нагрева одного или нескольких рекуперативных теплообменников, который приближается к заранее заданной максимальной величине или превышает ее. В некоторых вариантах система управления может быть сконфигурирована для удерживания на одном уровне или снижения расхода подаваемого топлива, как это указывалось, для управления температурой на выходе турбины и, соответственно, рабочими температурами рекуперативных теплообменников.

С помощью сигнала LO-BIAS может обеспечиваться возможность разных отношений расходов для потоков окислителя в режиме запуска и в режиме нормальной работы. Более того, сигнал LO-BIAS обеспечивает возможность управления отношениями расходов (отношениями расходов топлива к расходам окислителя) для трубопровода с высоким расходом и трубопровода с малым расходом независимо друг от друга. Хотя речь идет об общем отношении потоков топлива и окислителя, поступающих в камеру сгорания, однако это отношение может быть разным для трубопроводов с высоким и малым расходами. Это обеспечивает существенно повышенную возможность более точного управления работой камеры сгорания. В дополнение к изменению отношений топлива к окислителю в настоящем изобретении также обеспечивается возможность изменения химического состава потоков окислителя. Например, поток окислителя может включать O_2 в смеси с CO_2 , и количество CO_2 в потоке окислителя может варьироваться независимо для потоков окислителя в трубопроводах с высоким и малым расходами. Таким образом, концентрация кислорода, поступающего в камеру сгорания из трубопровода с высоким расходом, может варьироваться независимо от концентрации кислорода, поступающего в камеру сгорания из трубопровода с малым расходом. То есть, для всех трубопроводов топлива и окислителя, подведенных к камере сгорания, в настоящем изобретении может обеспечиваться возможность разных отношений расходов и разных химических составов потоков окислителя. В свете вышеизложенного элемент управления по настоящему изобретению в частности может быть приспособлен для регулирования отношения массового или объемного расхода топлива, поступающего по двум или более разным топливным трубопроводам из системы подачи топлива в камеру сгорания. Аналогично, элемент управления по настоящему изобретению может быть специально приспособлен для регулирования отношения массового или объемного расхода окислителя, поступающего по двум или более разным трубопроводам окислителя из системы подачи окислителя в камеру сгорания. Кроме того, элемент управления по настоящему изобретению может быть специально приспособлен для регулирования отношения массового или объемного расхода окислителя, поступающего по трубопроводу окислителя в камеру сгорания, к массовому или объемному расходу топлива, поступающего в камеру сгорания по топливному трубопроводу. Во всех случаях отношения расходов могут быть получены на основе массовых расходов материалов, проходящих по соответствующим трубопроводам (например, в кг/с), или же они могут быть получены на основе объемных расходов материалов, проходящих по соответствующим трубопроводам (например, в куб. м/с).

Как можно понять из вышеизложенного, в настоящем изобретении обеспечивается возможность автоматического переключения подачи топлива по двум или более трубопроводам. Расход топлива по двум или более трубопроводам может быть переменным, и отношения расходов могут быть изменены автоматически на основе заданных входных параметров. Таким образом, в любой момент времени от 0 до 100% расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания, может быть распределено по любым из двух или более топливных трубопроводов.

Кроме трактов управления, описанных со ссылками на фиг. 2, в системе управления могут быть реализованы различные другие тракты управления для определения различных сигналов и величин, используемых для управления потоками топлива и окислителя, подаваемых в камеру сгорания. Например, как показано на фиг. 1, температура на входе турбины (ТИТ) может использоваться в трактах управления для определения подходящего сигнала управления расходом топлива.

Поскольку выработка энергии осуществляется в условиях высоких температур и давлений, непосредственное измерение температуры на входе турбины может представлять большие трудности. Соответственно, в вариантах осуществления настоящего изобретения системы управления рассчитывают ТИТ с использованием различных стандартных подпрограмм, которые используют различные входные параметры. Как показано на фиг. 4И (лист 9), в качестве величины ТИТ принимают наибольшее значение ($>N$) из полученных с использованием трех различных стандартных вычислительных программ. При необходимости может использоваться большее количество стандартных вычислительных программ. В дальнейшем описании может использоваться только одна стандартная вычислительная программа.

На фиг. 4И (лист 9) первая стандартная программа для вычисления ТИТ осуществляет непосредственный расчет на основе различных потоков в системе выработки энергии. Этот расчет может включать получение входных величин, относящихся к температуре, давлению, массовому расходу, удельной теплоты формирования продуктов. Каждый из нижеуказанных потоков, характеризующийся массовым или объемным расходом, измеряется соответствующими элементами измерения расхода ("FE"): поток

топлива по топливному трубопроводу с высоким расходом (ТОПЛИВО-HF); поток топлива по топливному трубопроводу с малым расходом (ТОПЛИВО-LF); поток окислителя по трубопроводу окислителя с малым расходом (ОКИСЛИТЕЛЬ-LF); поток окислителя по трубопроводу окислителя с высоким расходом (ОКИСЛИТЕЛЬ-HF); поток рециркуляционного CO_2 (например, выходящего из рециркуляционного компрессора) для подачи в камеру сгорания (РЕЦИРКУЛЯЦИЯ); и поток CO_2 для охлаждения форсунки (ОХЛАЖДЕНИЕ ФОРСУНКИ). Каждое из нижеуказанных давлений измеряют с помощью соответствующих датчиков давления ("РТ"): давление в трубопроводе окислителя с малым расходом (ОКИСЛИТЕЛЬ-LF); давление в трубопроводе окислителя с высоким расходом (ОКИСЛИТЕЛЬ-HF); и давление в потоке рециркуляционного CO_2 , подаваемого в камеру сгорания (РЕЦИРКУЛЯЦИЯ). Каждую из нижеуказанных температур измеряют с помощью соответствующих датчиков температуры ("ТТ"): температура потока, проходящего по трубопроводу окислителя с малым расходом (ОКИСЛИТЕЛЬ-LF); температура потока, проходящего по трубопроводу окислителя с высоким расходом (ОКИСЛИТЕЛЬ-HF); и температура потока рециркуляционного CO_2 , подаваемого в камеру сгорания (РЕЦИРКУЛЯЦИЯ). В таком непосредственном расчете может использоваться суммарная энергия и масса, поступающая в камеру сгорания, и вычисляться теоретическая ТПТ.

Второй стандартный способ вычисления ТПТ заключается в расчете производительности турбины, который может осуществляться на основе отношения давлений турбины. Давление в потоке рециркуляционного CO_2 , подаваемого в камеру сгорания (РЕЦИРКУЛЯЦИЯ), делится на давление в потоке, выходящем из турбины (ВЫХЛОП), причем указанные давления измеряются соответствующими датчиками давления ("РТ"). Производительность турбины вычисляется как функция этого отношения давлений и температуры на выходе турбины, из которого выходит выхлопной поток (ВЫХЛОП). Эта температура на выходе турбины (ТОТ, от англ. Turbine Outlet Temperature) измеряется датчиком температуры ("ТТ"). При необходимости такой способ может быть модифицирован для учета охлаждающих потоков, подаваемых в турбину, и снижения величины ТОТ этими потоками, так чтобы уменьшить погрешности определения ТПТ.

В третьей программе вычисления ТПТ может обеспечиваться оценка на основе измеренной температуры кожуха турбины или внутреннего пространства колеса турбины. Такой способ может включать использование LO-BIAS или смещения для обеспечения возможности непосредственного измерения температуры внутренних металлических частей турбины (ВНУТР. КОЖУХ) с помощью датчика температуры ("ТТ").

После выполнения всех трех вышеуказанных вычислительных программ система управления выбирает наибольшую из полученных величин (>Н) и использует ее для формирования выходного сигнала ВЫЧИСЛЕННАЯ ТПТ. При необходимости этот сигнал передается в другие тракты управления, такие как вышеописанные тракты управления фиг. 2.

В некоторых вариантах может осуществляться опосредованное регулирование температуры ТПТ, которая может зависеть от комбинации температуры ТОТ на выходе турбины и фактической мощности турбины. В частности, DCS может быть сконфигурирована для управления температурой ТОТ путем регулирования массового расхода потока, поступающего в турбину. Такое регулирование может обеспечивать управление профилем температур в основных теплообменниках, снижать термомеханическую усталость в трубопроводах и теплообменниках, а также управление скоростью изменения температуры в процессах запуска и выключения энергетической установки. Поэтому TCS может управлять выходной мощностью турбины путем регулирования расхода топлива. Поскольку может осуществляться опосредованное управление ТПТ, то по соображениям безопасности необходимо осуществлять непрерывный контроль этой температуры.

В некоторых вариантах тракт регулирования расхода топлива может быть приспособлен для обеспечения, по существу, линейного отклика на изменения расхода. В этом случае может использоваться конфигурация, содержащая множество клапанов, в которой тракт регулирования расхода топлива включает один или более клапанов регулирования расхода топлива, а также один или более клапанов регулирования давления топлива. Для управления падением давления на клапане регулирования расхода топлива, расположенном ниже по потоку, может использоваться клапан регулирования давления, или же он может использоваться для регулирования давления перед этим клапаном. Эти, и другие точки регулирования, могут использоваться для линеаризации ответной реакции клапана регулирования расхода топлива для обеспечения более линейного и предсказуемого регулирования, а также для исключения действия на клапан регулирования расхода топлива флуктуации давления выше по потоку в системе подачи топлива.

Тракт управления, включающий вышеуказанные клапаны регулирования давления топлива, показан на фиг. 4К (лист 10). Как можно видеть, в тракты управления для клапана регулирования расхода топлива в трубопроводе FCV-FH (элемент 232 на фиг. 2) с высоким расходом и для клапана регулирования расхода топлива в трубопроводе FCV-FL (элемент 246 на фиг. 2) с малым расходом могут быть включены генераторы сигналов. В каждом случае заданное значение давления может быть установлено таким образом, чтобы падение давления на соответствующем клапане регулирования расхода (FCV) поддерживалось на заданном уровне, который может быть минимальным заданным значением (то есть, "ХХ" бар).

Также может быть задан соответствующий ход клапана (в процентах) для трубопроводов с высоким и малым расходами (где "XX%" указывает переменный ход клапана, в процентах), так что когда достигается заданная величина хода клапана, заданное значение падения давления увеличивается для увеличения подачи топлива. Для этого в каждом тракте управления реализованы функции $f(x)$ вычисления % бар и выбора наибольшей величины ($>H$). Такая конфигурация трактов управления может обеспечивать автоматическое управление независимо от режима работы энергетической установки (например, запуск или работа в штатном режиме).

Кроме того, в тракт управления может быть включен один или более датчиков давления для поддержания самого низкого падения давления на клапане регулирования давления на фиксированном уровне. На фиг. 4К (лист 10) в трактах управления используются три датчика давления для обеспечения сигналов давления, относящихся к давлению выше по потоку клапана FCV-FH, давлению на выходе компрессора газообразного топлива (ГТ) и давлению выше по потоку клапана FCV-FL. Для выбора наименьшего из трех измеренных давлений ($>L$) может использоваться последовательность логических операций. После этого контроллер вырабатывает величину для заданного давления на выходе компрессора газообразного топлива (УСТАВКА КОМПР. ГТ) на основе полученного наименьшего падения давления и передает сигнал в систему DCS. При расчетах расходов через клапаны PCV-FH и PCV-FL также учитываются давления ниже по потоку клапанов FCV-FH и FCV-FL, соответственно, причем эти давления измеряются соответствующими датчиками давления. Они обеспечивают фактические величины давлений потоков, которые сравниваются с вышеуказанными минимальными величинами.

В некоторых вариантах может использоваться только одно падение давления. Например, во время запуска можно использовать только падение давления на клапане PCV-FL. В предпочтительных вариантах используется минимальное заданное значение на основе минимальной производительности компрессора. Это минимальное давление (например, "МИН. бар") является входным параметром генератора сигналов, и наибольшее давление выбирается функцией выбора наибольшей величины ($>H$). Использование одного или более клапанов регулирования давления выше по потоку клапанов регулирования расхода топлива может, в некоторых вариантах, обеспечивать поддержание постоянного давления газообразного топлива исключительно путем изменения давления на выходе компрессора газообразного топлива. Как и в предыдущих случаях при запуске может использоваться специальный режим управления. Например, генератор сигналов может использоваться для задания 0% хода клапана регулирования давления во время запуска, чтобы гарантировать, что клапан будет оставаться закрытым, и между клапанами PCV и FCV в топливном трубопроводе с высоким расходом не будет давления. В соответствующий момент времени сигнал ГОТОВН. К ПЕРЕКЛ. РЕЖ. может указывать на переход из режима запуска в режим нормальной работы, и этот сигнал может обеспечить открытие генератором клапана PCV-FH в соответствии с заданной установкой (Y%). Необходимое переключение осуществляется с использованием автоматических переключателей ("ASW"). Когда происходит переход из режима запуска в режим нормальной работы, падение давления на клапане регулируется обычным образом, как это уже было описано.

На фиг. 3 приведена упрощенная схема системы газообразного топлива для энергетической установки в соответствии с настоящим изобретением. Как можно видеть, основной топливный трубопровод 301, выходящий из компрессора 300 газообразного топлива, разделяется на основной трубопровод 310 с высоким расходом и вспомогательный трубопровод 320 с малым расходом. Трубопровод 310 с высоким расходом содержит клапан 312 регулирования давления, клапан 314 регулирования расхода и элемент 316 измерения расхода. Между клапаном 312 регулирования давления и клапаном 314 регулирования расхода расположен датчик 313 давления, и между клапаном 314 регулирования расхода и элементом 316 измерения расхода расположен датчик 315 давления. Трубопровод 320 с малым расходом содержит клапан 322 регулирования давления, клапан 324 регулирования расхода и элемент 326 измерения расхода. Между клапаном 322 регулирования давления и клапаном 324 регулирования расхода расположен датчик 323 давления, и между клапаном 324 регулирования расхода и элементом 326 измерения расхода расположен датчик 325 давления. В основном трубопроводе 301 выше по потоку точки его разделения на трубопровод 310 с высоким расходом и трубопроводом 320 с малым расходом может быть также установлен датчик 305 давления. В некоторых вариантах клапан 312 может соответствовать клапану PCV-FH, клапан 314 может соответствовать клапану FCV-FH, клапан 322 может соответствовать клапану PCV-FL, и клапан 324 может соответствовать клапану FCV-FL. Как показано на фиг. 3 и на фиг. 4К (лист 10), датчик PT 305 может измерять давление на выходе компрессора ГТ, датчик PT 313 может измерять давление выше клапана FCV-FH, датчик PT 315 может измерять давление ниже клапана FCV-FH, датчик PT 323 может измерять давление выше клапана FCV-FL, и датчик PT 325 может измерять давление ниже клапана PCV-FH.

В дополнение к обеспечению индивидуального регулирования расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания, системы управления по настоящему изобретению могут быть сконфигурированы для управления различными характеристиками потока окислителя, подаваемого в камеру сгорания. Как показано на фиг. 4Л (лист 11), система управления может содержать тракты управления, приспособленные для поддержания падения давления на клапане регулирования расхода в трубопроводе с малым расходом (ПОЛОЖЕНИЕ FCV-OL) на заданном уровне. Заранее заданная часть в процентах может обеспечиваться

генератором сигналов (XX%), и любая часть в процентах может быть задана в качестве максимальной величины. Эта максимальная величина сравнивается с фактическим расходом через клапан FCV-OL для использования в качестве входного параметра для системы TCS. Тракт управления также содержит генератор сигналов для формирования входного сигнала, указывающего минимальное давление потока, которое при необходимости может быть задано заранее (ВВ бар), и функция (>H) выбора наибольшей величины используется для передачи требуемой величины в следующий тракт управления. Система управления может быть сконфигурирована для увеличения заданного значения падения давления на клапане FCV-OL. Это изменение заданного значения может указывать на изменение заданного значения давления окислителя (ЗАДАННОЕ ДАВЛ. ОКИСЛИТ), переданное в систему DCS сигналом, используемым для трактов управления в отношении компрессоров и/или насосов, используемых в энергетической установке. Это обеспечивает возможность плавного и непрерывного регулирования в различных режимах работы. Возможность обеспечения заданного значения давления окислителя зависит от согласования работы компрессора окислителя и насоса окислителя в отношении величины ДАВЛЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ, получаемой из датчика давления PT, и величины ДАВЛЕНИЯ ОКИСЛИТЕЛЯ, получаемой из датчика давления PT. Если насос должен быть подключен к трубопроводу, система DCS может быть приспособлена для уведомления системы TCS о необходимости сохранять сигнал топлива, поскольку расход окислителя зависит от этого сигнала. Таким образом, упрощается система регулирования давления окислителя, подача окислителя синхронизируется с подачей топлива и осуществляется в автоматическом режиме.

Как можно понять из вышеизложенного, системы управления по настоящему изобретению могут быть сконфигурированы таким образом, что потребная мощность обеспечивается регулированием расходом подаваемого топлива. В частности, система TCS может регулировать расход топлива для обеспечения выходной мощности в соответствии с сигналом ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ. Управление комбинациями клапанов регулирования расхода и клапанов регулирования давления может осуществляться в автоматическом режиме для обеспечения плавного регулирования и работы в нужном диапазоне управления работой турбины. Таким образом, полный цикл выработки энергии будет меньше зависеть от изменений расхода подаваемого топлива по сравнению с традиционными газовыми турбинами. В соответствии с настоящим изобретением изменения регулирования расхода топлива действуют в меньшей степени, поскольку требуется меньшая точность, и увеличение времени отклика может повысить надежность работы.

В некоторых вариантах в отношении охлаждения турбины могут использоваться различные тракты управления. Например, автоматизированное управление может обеспечиваться таким образом, что один или более охлаждающих потоков, такой как часть рециркуляционного потока CO₂, может быть направлен в турбину для охлаждения, и тракты управления могут использоваться для регулирования одного или более массовых расходов, давления, температуры и источников охлаждающих потоков. В некоторых вариантах потоки CO₂ могут быть отобраны из одной или более точек в канале повторного нагрева рекуперативного теплообменника (например, элемент 35 на фиг. 1). На фиг. 4М (лист 12) показаны два альтернативных тракта управления: верхний тракт, обеспечивающий регулирование расхода в зависимости от температуры, и нижний тракт, обеспечивающий регулирование по индивидуальной схеме. В верхнем тракте заданное значение для массового расхода потока, охлаждающего лопатки (УСТАВКА РАСХ. ОХЛ. ЛОПАТОК), может быть установлено системой TCS и используется для управления двумя клапанами охлаждения в двух разных диапазонах температур, "ХОЛОДНЫМ" КЛАПАНОМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛОПАТОК и "ГОРЯЧИМ" КЛАПАНОМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛОПАТОК (хотя может использоваться больше или меньше клапанов), в соответствии с отклонением (А) действительного расхода охлаждающего потока лопаток, измеряемого датчиком расхода этого потока. Различие между "холодным" и "горячим" клапанами относится к соответствующим температурам, с которыми потоки CO₂ отбираются из теплообменника. Например, "горячий" клапан охлаждения лопаток показан на фиг. 5 как клапан 553, и "холодный" клапан охлаждения лопаток показан на фиг. 5 как клапан 552. В одном из вариантов может быть включен элемент регулирования расхода, сообщающийся с клапаном 552, и элемент регулирования температуры, сообщающийся с клапаном 553. Элемент регулирования температуры может быть выполнен для смещения сигналов управления, которые передаются в клапаны регулирования расходов потоков охлаждения лопаток для поддержания регулирования температуры. В тракте управления заданное значение температуры охлаждения лопаток (УСТАВКА ТЕМП. ОХЛ.) может обеспечиваться системой TCS и сравниваться с действительной температурой охлаждения лопаток, измеренной датчиком температуры (ТТ). Для задания допусков генератором сигналов может быть введена максимально допустимая температура (МАКС.°С), и функция выбора минимальной величины (>L) может быть использована для сравнения максимальной температуры с заданным значением температуры охлаждения лопаток (УСТАВКА ТЕМП. ОХЛ.). Выбранная величина используется функцией выбора наибольшей величины (>H) для сравнения с минимально допустимой температурой, которая поступает в качестве входной величины из генератора сигналов (МИН.°С). Окончательная величина сравнивается функцией сравнения (А) с температурой охлаждения лопаток.

В нижнем тракте управления "горячий" клапан охлаждения используется для управления потоком,

поступающим в трубопровод охлаждения лопаток, на основе сравнения входного сигнала УСТАВКА ТЕМП. ОХЛ., поступающего из системы TCS, с расходом охлаждающего потока лопаток, измеряемым датчиком расхода (FT). Как и в предыдущем случае, величина УСТАВКА ТЕМП. ОХЛ., сравнивается с измеренной температурой охлаждения лопаток, измеряемой датчиком температуры (TT), включая проверку допусков, и разность используется для управления "холодным" клапаном охлаждения лопаток. Как можно понять из вышеизложенного, система управления может быть в частности приспособлена для удерживания на одном уровне или снижения массового или объемного расхода топлива, проходящего по меньшей мере по одному топливному трубопроводу из системы подачи топлива в камеру сгорания, для защиты одного или более теплообменников от перегрева. Функция управления может заключаться в реакции на входной сигнал, указывающий на то, что рабочая температура теплообменника приближается к заранее определенной максимальной рабочей температуре или к скорости увеличения температуры или превышает эти параметры.

В процессе запуска энергетической установки могут использоваться различные тракты управления, включая использование согласованно работающих стандартных программ в системах TCS и DCS. Таким образом, настоящее изобретение может относиться, в частности, к способам и средствам управления для запуска энергетической установки. В частности, операции процесса запуска могут осуществляться на основе согласованного управления расходами топлива и окислителя, когда включена камера сгорания и турбина.

Варианты трактов управления, относящихся к инициализации запуска энергетической установки, показаны на фиг. 4Б (лист 2). В таких вариантах система DCS направляет сигнал ПОДГОТОВ. К ПУСКУ после подтверждения того, что системы установки готовы к работе. Система TCS включает и запускает любые подсистемы, необходимые для запуска и зажигания, посредством сигналов: "запуск электрогидравлического блока управления" (ПУСК ЭБУ); "запуск системы смазки" (ПУСК СС); "запуск инвертора с естественной коммутацией" (ПУСК ПЕК); "запуск остальных систем" (ПУСК ДРУГИХ). Эти сигналы запуска связаны с сигналами готовности, которые могут инициировать разгон главного вала (ПУСК РАЗГОНА) и инициировать последовательность продувки топлива (ПОСЛЕД. ПРОДУВКИ) для надежной очистки трубопроводов от топлива перед инициализацией зажигания в камере сгорания. Дополнительные сигналы готовности могут быть необходимы в качестве разрешений перед указанными инициализациями: "система смазки - готова" (СС - ГОТОВА), "инвертор с естественной коммутацией - готов" (ИЕК - ГОТОВ); "другие системы - готовы" (ДРУГИЕ - ГОТОВЫ); "электрогидравлический блок управления - готов" (ЭБУ - ГОТОВ). Например, давление в системе смазочного масла может быть получено из датчика давления (РТ) для подтверждения того, что достигнуто минимальное давление (мин. Р). Кроме того, тракт управления может включать входной сигнал из системы TCS, указывающий на то, что все операции по продувке топливной системы выполнены (сигнал ПРОДУВКА ЗАВЕРШ.), и необходимый сигнал о том, что скорость вращения вала находится в заданном диапазоне (мин. об/мин). В этот момент система DCS может инициировать сигнал ГОТОВН. К ПУСКУ.

На фиг. 4В (лист 3) показаны дополнительные тракты управления, которые могут использоваться для управления запуском энергетической установки. Как можно видеть, управление запуском может включать требование сигнала заполнения, указывающего на то, что необходимые трубопроводы заполнены рабочей текучей средой (например, CO₂). Сигнал СИСТЕМА ЗАПОЛН. из системы DCS может быть объединен с сигналом ГОТОВН. К ПУСКУ, который может быть выработан, как это уже было описано, для продолжения процедуры запуска. Могут быть необходимы также и другие разрешающие сигналы. Как показано, входной параметр ВСАСЫВАНИЕ КОМПРЕССОРА CO₂, измеряемое датчиком (РТ) давления, должен удовлетворять требованию изменяемого минимального давления (XX бар). Выполнение этих требований может указывать системе TCS на необходимость выведения главного вала из зацепления с механизмом его разгона (сигнал ОТКЛЮЧ. ПРИВОДА) и задать управление инвертором с естественной коммутацией (сигнал "ЗАПУСК ПЕК"). Управление конвертором ПЕК может осуществляться в соответствии с сигналами множества генераторов сигналов (SG), задающих скорость 0 об/мин или переменную скорость (показано ZZ об/мин, XX об/мин, YY об/мин и QQ об/мин) и автоматических переключателей (ASW) для надежного выведения турбины на рабочий режим в соответствии с заранее заданными значениями, которые могут включать автоматические регулировки скорости вращения в соответствии с сигналом, подтверждающим синхронизацию скорости компрессора и турбины (СИНХ. СКОРОСТИ), сигналом подтверждения достижения скорости, необходимой для зажигания в камере сгорания (СКОР. ЗАЖИГАНИЯ), и сигнала, подтверждающего синхронизацию некоторых компонентов системы (СИНХ. ЗАВЕРШЕНА, лист 8). Подтверждение достижения различных заданных скоростей вращения турбины вызывает передачу в систему TCS сигнала УКАЗ. СКОРОСТИ ИЕК. Когда главный вал проворачивается с заданной скоростью (ZZ об/мин), активируется таймер. По окончании заданного времени и достижении заданных значений скорости вращения турбины вырабатывается сигнал ГОТОВН. К ПУСКУ, который передается в систему DCS и используется в других трактах управления для продолжения переключения энергетической установки на работу в штатном режиме.

На фиг. 4Г (лист 4) показаны другие тракты управления, которые могут использоваться для управления запуском энергетической установки. Как можно видеть, тракт управления запуском требует полу-

чения вышеупомянутого сигнала ГОТОВН. К ПУСКУ и сигнала ПОДТВЕРЖД. ПУСКА из системы DCS, чтобы можно было разогнать турбину до скорости зажигания. Пока измеренная скорость вала будет ниже скорости зажигания, система TCS передает в систему DCS сигнал ПОДГОТОВ. К ЗАЖИГ., и DCS реагирует на этот сигнал приведением в действие других элементов энергетической установки в порядке подготовки к зажиганию. Затем из системы DCS принимается сигнал КИСЛОРОД ГОТОВ, и система TCS отвечает передачей в систему DCS сигнала ПУСК КИСЛОРОДА при условии выполнения других требований: 1) скорость вращения вала достигла величины, требуемой для зажигания, которая может быть задана, как это может быть необходимо (УУ об/мин); 2) система DCS после получения сигнала ПОДГОТОВ. К ЗАЖИГАН., передает в ответ сигнал ГОТОВН. К ЗАЖИГАН.; 3) имеются любые другие разрешающие сигналы (ДРУГИЕ РАЗРЕШЕНИЯ); 4) получено подтверждение того, что продувка системы не требуется, то есть получен отрицательный ответ на сигнал ПРОДУВКА СИСТЕМЫ; и 5) получено подтверждение того, что последовательность операций зажигания не закончена, то есть, сигнал ЗАЖИГАНИЕ ЗАКОНЧ. отрицательный. После получения сигнала КИСЛОРОД ГОТОВ и сигнала ПУСК КИСЛОРОДА из системы DCS она инициирует последовательность операций зажигания. Затем приводится в действие таймер задержки подачи топлива, и клапан FCV-FL топливного трубопровода с малым расходом открывается и устанавливается в заданное положение. Это обеспечивает время для заполнения трубопроводов окислителя, так что топливо и окислитель вводятся в камеру сгорания, по существу, в один и тот же момент времени. После этого система управления передает множество сигналов для использования в других трактах управления. Когда начинается выполнение последовательности операций зажигания, в систему TCS для системы зажигания передается сигнал ВКЛЮЧ. ЗАПАЛЬНИК, и запускается таймер для подачи топлива. Начало подачи топлива запускает второй таймер для обнаружения зажигания. Может использоваться обратный контур для обеспечения сброса последовательности операций зажигания в случае, если зажигание не сработает. Если зажигание не будет обнаружено до истечения интервала, задаваемого таймером, передается сигнал ОТКАЗ ЗАЖИГАНИЯ. Высокая величина сигнала может удерживаться в течение заданного времени для обеспечения возможности системе DCS выполнить обработку и выработать сигнал ПРОДУВКА СИСТЕМЫ, а также при необходимости приостановить попытки повторного зажигания. Обнаружение пламени должно осуществляться в течение времени, задаваемого таймером, пока не будет передан сигнал зажигания, чтобы исключить детонацию. Система обнаружения зажигания будет отключать запальник, когда будет обнаружено воспламенение, и сигнал УСПЕШН. ЗАЖИГАНИЕ будет передан в другие тракты управления.

Как можно видеть на фиг. 4Д (лист 5) сигнал УСПЕШН. ЗАЖИГАНИЕ используется в трактах управления, приспособленных для регулирования давления в системе при переходе от запуска к работе в штатном режиме. Тракты управления могут быть приспособлены, например, для поддержания давления в системе во время запуска на низком уровне. Сигнал В ТОЧКЕ 1, передаваемый в систему DCS, например, может относиться к компрессору, обеспечивающему давление примерно 10 бар. Затем система управления поднимает давление, как только компрессор будет работать на полной скорости. Сигнал В ТОЧКЕ 2, например, может относиться к компрессору, обеспечивающему давление примерно 30 бар.

На фиг. 4Е (лист 6) и фиг. 4З (лист 8) показаны другие тракты управления, содержащие стадии процедуры выполнения запуска. Например, на листе 6 в системе управления используются различные сигналы, которые, среди прочих действий, могут изменять расход топлива в связи с разгоном турбины до полной рабочей скорости. На листе 8 иллюстрируется взаимодействие системы управления генератором (GCS) в процессе синхронизации различных систем при переходе от запуска к работе в штатном режиме. На фиг. 4Н (лист 13) показаны тракты управления для регулирования осевой нагрузки на турбину путем сравнения измеренных величин с сигналом ДОПУСТИМАЯ НАГР., получаемым из системы TCS. Для обеспечения надежной работы могут обеспечиваться дополнительные тракты управления, показанные на фиг. 4О (лист 14). Например, система управления может быть выполнена для инициализации сигнала СТОП ТОПЛИВО в ответ на получение сигналов, указывающих на то, что зажигание не сработало, и/или после предыдущего зажигания произошел срыв пламени, то есть, сигналов НЕСИНХР. СРЫВ ПЛАМЕНИ, ОТКАЗ ЗАЖИГАНИЯ и СИНХР. СРЫВ ПЛАМЕНИ. Инициализация сигнала СТОП ТОПЛИВО может также инициировать открытие различных клапанов и вентиляционных отверстий, так чтобы можно было надежно выполнить вентиляцию трубопроводов топлива и/или окислителя.

В дополнение к вышеприведенному описанию дается ссылка на листы 1-14 на фиг. 4А-4О, на которых показаны иллюстративные тракты управления, которые могут использоваться в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения, и для упрощения схем сигналы, указанные вырабатываемыми в одном тракте управления, используются как входные сигналы в другом тракте управления. Каждая из соответствующих блок-схем может рассматриваться отдельно, и, соответственно, аспекты настоящего изобретения могут определяться в отношении всей или части отдельной блок-схемы на одном из указанных листов. В других вариантах соответствующие блок-схемы могут рассматриваться совместно, и, соответственно, аспекты настоящего изобретения могут определяться в отношении комбинаций всех или частей двух или более листов. Иначе говоря, один или более элементов любого листа из листов 1-14 (фиг. 4А-4О) могут быть объединены с одним или более элементами любого другого листа из листов 1-14 (фиг. 4А-4О). Возможные комбинации различных блок-схем будут очевидны после озна-

комления с последующей частью описания.

На фиг. 4А-4О различные символы имеют одинаковое значение для всех фигур. В целом прямоугольные транспаранты с одним заостренным концом представляют сигналы, которые подаются на вход тракта управления или передаются с выхода тракта управления. Различные прямоугольные блоки вычислительных функций имеют значения, общепринятые в технике. Блоки с сигналом А представляют собой функцию вычисления разности входных величин. Блоки с "f(x)" указывают на выполнение вычислительных функций. Блоки с "Р" или "I" означают "пропорциональный" и "интегральный (суммарный)", соответственно. Хотя показаны только блоки "Р" и "I", следует понимать, что показанные тракты управления могут использовать типовую схему управления с контуром обратной связи, где контроллер "PID" (пропорционально-интегрально-дифференциальный) вычисляет величину рассогласования как разность между заданным значением и измеренной переменной процесса и осуществляет коррекцию с использованием операций пропорциональности, интегрирования и дифференцирования. Таким образом, любые или все операции Р, I и D могут использоваться в соответствии с настоящим изобретением. Блоки с символами "+", "-", "X" или "÷" указывают суммирование величин, вычитание величин, умножение величин и деление величин, соответственно. Блоки с "ASW" указывают на наличие автоматического переключателя. Блоки с "SG" указывают на генератор сигналов, в котором вырабатывается заранее заданная входная величина, причем сигнал может принимать конкретное значение (показано числом в блоке), или сигнал может иметь переменное значение (показано таким обозначением, как, например, "xx", "nn" и т.п.). Блоки с "AM" указывают величину, записанную в компоненте аналоговой памяти. Блоки с ">H" или ">L" указывают выбор, соответственно, наибольшей или наименьшей из входных величин. Блоки с входными величинами, указанными "1" и "2" указывают на то, что входная величина "1" используется, пока не будет принята третья величина (не пронумерованная), когда входная величина "2" превысит входную величину "1". Блоки с "*H" указывают фильтр больших величин, когда сигнал вырабатывается только в том случае, когда фактическая входная величина превышает заданное значение. Блоки с "*L" указывают фильтр малых величин, когда сигнал вырабатывается только в том случае, когда фактическая входная величина меньше заданного значения. Использование кружков вместо прямоугольных блоков означает входную величину, полученную из датчика.

Применения различных трактов управления для управления системами выработки энергии и соответствующие способы в соответствии с настоящим изобретением иллюстрируются на фиг. 5. Как можно видеть, система 500 выработки энергии содержит множество компонентов, сконфигурированных для сжигания топлива с кислородом в условиях высокого давления для формирования потока продуктов сгорания, который расширяется в турбине, охлаждается, очищается и рециркулируется в камеру сгорания в качестве рабочей текучей среды. Система 500 выработки энергии содержит основную систему 501 управления, которая соединяется по линии 501а связи с множеством других линий связи, как это будет описано ниже более подробно. Отдельная система 501 управления, показанная на фиг. 5, может быть системой DCS, рассмотренной в настоящем описании, системой TCS, рассмотренной в настоящем описании, системой GCS, рассмотренной в настоящем описании, или любой иной обычной системой управления, подходящей для считывания входных сигналов и обеспечения выходных сигналов для управления при осуществлении способа выработки энергии системой 500, как это иллюстрируется на фиг. 5. Следует понимать, что может использоваться множество систем управления, и для упрощения рассмотрения показана только одна система 501 управления. Система 501 управления может также рассматриваться, как включающая множество отдельных систем управления, таких как любая комбинация систем DCS, TCS и GCS.

При практическом осуществлении способа выработки энергии в соответствии с настоящим изобретением давление топлива (например, метана, синтез-газа или другого газообразного топлива из источника топлива, см. элемент 115 на фиг. 1) повышают в компрессоре 502 газообразного топлива, и газообразное топливо под давлением подают по одному или по обоим из основного топливного трубопровода 503 (или трубопровода с высоким расходом) и вспомогательного топливного трубопровода 504 (или трубопровода с малым расходом) в камеру 511 сгорания. Расход по основному топливному трубопроводу 503 и по вспомогательному топливному трубопроводу 504 может регулироваться путем автоматизированного открытия и закрытия регулирующего клапана 505 (напр., FCV-FH) трубопровода с высоким расходом и регулирующего клапана 506 (напр., FCV-FL) трубопровода с малым расходом, соответственно. Основной топливный трубопровод 503 может быть трубопроводом высокой производительности по сравнению с вспомогательным топливным трубопроводом 504, и основная часть топлива, подаваемого в камеру сгорания при работе в штатном режиме системы 500 выработки энергии, может быть подана по основному топливному трубопроводу. Хотя топливо при работе в штатном режиме может также подаваться и по вспомогательному топливному трубопроводу 504, однако он может использоваться в основном во время запуска системы 500 выработки энергии, как это указывается в настоящем описании.

Окислитель из источника окислителя (например, элемент 120 на фиг. 1) может подаваться по основному трубопроводу 507 окислителя, и регулирование расхода может осуществляться с помощью клапана 508. Окислитель, который может быть потоком, по существу, чистого кислорода, получаемого, например, из установки разделения воздуха, соединяют с рециркуляционным CO₂ из потока 546 для фор-

мирования потока разбавленного окислителя в трубопроводе 509, и этот поток пропускают через теплообменник 510 с последующим повышением его давления в компрессоре 512 окислителя. Затем поток разбавленного окислителя под давлением охлаждают в теплообменнике 513 и нагнетают с использованием насоса 514 и клапана 515. Затем поток окислителя под давлением нагревают путем пропускания последовательно через рекуперативные теплообменники 519, 528, 527 и 526, прежде чем подать его в камеру 511 сгорания по основному трубопроводу 516 окислителя. Часть потока разбавленного окислителя под давлением может быть отобрана для подачи в камеру 511 сгорания по вспомогательному трубопроводу 517 окислителя через клапан 571. Между компрессором 512 окислителя и теплообменником 513 часть разбавленного окислителя может быть отобрана в трубопровод 565 через клапан 566 для рециркуляции в трубопровод, отходящий от клапана 564, и подачи обратно в трубопровод 509. Дополнительно (но не обязательно) часть потока разбавленного окислителя между насосом 514 и клапаном 515 может быть отобрана в трубопровод 567 через клапан 568 для рециркуляции в трубопровод 509 между компрессором 512 и теплообменником 513. Также дополнительно (но не обязательно) часть потока разбавленного окислителя между клапаном 515 и рекуперативным теплообменником 529 может быть отобрана в трубопровод 569 через клапан 570 для рециркуляции в трубопровод 509 между теплообменником 513 и насосом 514.

Топливо, поступающее из основного топливного трубопровода 503 и/или из вспомогательного топливного трубопровода 504, сгорает в камере 511 сгорания в присутствии окислителя, поступающего по основному трубопроводу 516 окислителя и/или по вспомогательному трубопроводу 517 окислителя, для получения потока продуктов сгорания под высоким давлением (например, в диапазоне от примерно 100 бар до примерно 500 бар, предпочтительно от примерно 150 бар до примерно 400 бар) и с высокой температурой (например, в диапазоне от примерно 400°C до примерно 1500°C, предпочтительно примерно 600°C, предпочтительно от примерно 600°C до примерно 1200°C), который расширяется в турбине 525 до давления, меньшего давления продуктов сгорания, и предпочтительно меньше сверхкритического давления CO_2 (например, от примерно 1 бара до примерно 75 бар). В трубопровод 518 также может быть введен поток CO_2 для подачи через клапан 519 по трубопроводу 521 в компрессор 520 с сальниковым уплотнением (показано пунктирной линией для обозначения дополнительного потока). Часть выхлопного потока турбины проходит через сальниковые уплотнения 522. После этого поток охлаждают в теплообменнике 523 перед подачей в компрессор 520 с сальниковыми уплотнениями. Поток, выходящий из компрессора 520 с сальниковыми уплотнениями, может быть выпущен по трубопроводу 524 или может быть рециркулирован в трубопровод 530 выше по потоку теплообменника 523. Управление потоком, проходящим по трубопроводу 524, осуществляется с использованием клапанов 531 и 532, а управление потоком, проходящим через трубопровод 530 рециркуляции, осуществляется с использованием клапана 533. Другие конфигурации, относящиеся к сальниковым уплотнениям и к соответствующим компонентам в системе выработки энергии, описаны в публикации US 2016/0363009, Fetvedt и др., содержание которой вводится ссылкой в настоящую заявку.

Основной выхлопной поток выходит из турбины 525 по трубопроводу 534 и последовательно направляется через рекуперативные теплообменники 526, 527, 528 и 529. Из трубопровода 534 через клапан 535 может быть отобран боковой поток, который пропускают по трубопроводу 536 через рекуперативный теплообменник 526, прежде чем он будет подан снова в трубопровод 534. Дополнительно (но не обязательно) часть или весь поток в трубопроводе 536 может быть отобран через клапан 537 для соединения с выхлопным потоком турбины в трубопроводе 534 ниже по потоку рекуперативного теплообменника 529. Далее, часть выхлопного потока 534 турбины может быть подана по трубопроводу 538 в вентиляционный трубопровод 524. Дополнительно (но не обязательно) часть выхлопного потока турбины из компрессора 520 с сальниковыми уплотнениями в трубопроводе 524 может быть отобрана выше по потоку клапана 531 и подана через клапан 539 для соединения с выхлопным потоком турбины в трубопроводе 534 ниже по потоку рекуперативного теплообменника 529.

Затем выхлопной поток турбины в трубопроводе 534 пропускают через газоохладитель 540 для удаления воды из этого потока. Конденсируемая вода отводится в трубопровод 541 через клапан 542. Часть конденсируемой воды может быть рециркулирована в газоохладитель по трубопроводу 543 через насос 544 и теплообменник 545. После удаления воды, по существу, чистый поток рециркуляционного CO_2 подают из газоохладителя 540 по трубопроводу 546. Рециркуляционный CO_2 может быть пропущен через различные трубопроводы для разбавления различных потоков и рециркулируется в камеру сгорания в качестве рабочей текучей среды, для использования в качестве охлаждающего агента, и для дополнительной вентиляции. Часть рециркуляционного CO_2 может быть отобрана для изоляции (захоронения), для использования в способах повышения нефтеотдачи пласта или для других целей.

В частности, рециркуляционный CO_2 из трубопровода 546 подают по трубопроводу 547 в компрессор 548 рециркуляции. После этого рециркуляционный CO_2 пропускают через теплообменник 549 для повышения плотности рециркуляционного CO_2 , прежде чем его давление будет повышено насосом 550 до уровня, подходящего для подачи в камеру 511 сгорания. Затем поток рециркуляционного CO_2 высокого давления по трубопроводу 551 пропускают последовательно через рекуперативные теплообменники 529, 528, 527 и 526 для нагрева до температуры, подходящей для его подачи в камеру 511 сгорания.

Часть потока рециркуляционного CO_2 высокого давления может быть отобрана с разными температурами для использования в качестве охлаждающего агента в камере 511 сгорания, объединенной с турбиной 525. В частности, может быть осуществлен отбор через клапан 552 с промежуточной температурой между рекуперативными теплообменниками 527 и 528 и отбор через клапан 553 с более высокой температурой между рекуперативными теплообменниками 526 и 527 для передачи по трубопроводу 554. Хотя указан один клапан 552 и один клапан 553, следует понимать, что в каждом случае может использоваться последовательность клапанов (например, два, три или более). В других вариантах часть рециркуляционного CO_2 может быть отобрана из трубопровода 547 между теплообменником 549 и насосом 550 и подана через клапан 555 в трубопроводе 556 в трубопровод 551 между насосом 550 и рекуперативным теплообменником 529. Кроме того, часть выхлопного потока турбины может быть отобрана из трубопровода 534 перед подачей в газоохладитель 540 и соединена с потоком рециркуляционного CO_2 в трубопроводе 547. В частности, выхлопной поток турбины отбирается через клапан 557 в трубопроводе 558, и его давление повышают в компрессоре 559 горячего газа. Часть газа, выходящего из компрессора 559, может быть рециркулирована по трубопроводу 560 через теплообменник 561. Остающаяся часть газа подает в трубопровод 562 для охлаждения в рекуперативных теплообменниках 528 и 529 перед пропуском через клапан 563 и соединением с потоком рециркуляционного CO_2 в трубопроводе 547 между компрессором 548 и теплообменником 549. Выше по потоку этой точки часть потока рециркуляционного CO_2 может быть подана по трубопроводу 573 через клапан 574 в выхлопной поток 534 турбины между рекуперативным теплообменником 529 и газоохладителем 540.

Также между компрессором 548 и теплообменником 549 часть потока рециркуляционного CO_2 отбирается в трубопровод 572 для подачи в компрессор 512 окислителя. Это в дополнение к части потока рециркуляционного CO_2 , которая подается из клапана 564 для добавления к кислороду, подаваемому по основному трубопроводу 507 окислителя. Кроме того, часть потока в трубопроводе 572 может быть отобрана для подачи в трубопровод 524 между клапаном 531 и компрессором 520.

Как можно видеть на фиг. 5, система 500 выработки энергии включает ряд элементов управления (указаны пунктирными кружками) и соответствующих датчиков (показаны пунктирными прямоугольниками), соединенных с вышеописанными рабочими компонентами, как это показано пунктирными линиями. Такая сеть датчиков, элементов и трактов управления может задавать одну или более последовательностей логических операций регулирования расходов, которые обеспечивают регулирование расходов одной или более текущих сред через один или более компонентов энергетической установки. Например, как это уже указывалось, система управления по настоящему изобретению может содержать элемент 10 регулирования мощности, сконфигурированный для приема сигнала ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ для текущей мощности, которая должна обеспечиваться турбиной 525. Элемент 10 регулирования мощности может быть выполнен для обеспечения команд на открытие и/или закрытие одного или обоих из клапанов 505 и 506 в основном топливном трубопроводе 503 и во вспомогательном топливном трубопроводе 504, соответственно, для подачи соответствующего количества топлива в камеру 511 сгорания для обеспечения потребной мощности. Хотя это не показано на фиг. 5, однако, как это описано со ссылкой на фиг. 3, элемент 10 регулирования мощности может также принимать сигналы от датчиков давления и от датчиков расхода, сообщающихся с основным топливным трубопроводом 503 и с вспомогательным топливным трубопроводом 504.

Как показано на фиг. 5, регулирование расхода по трубопроводу 530 рециркуляции обратно в компрессор 520 с сальниковыми уплотнениями может осуществляться с помощью элемента 12 регулирования давления на основе, по меньшей мере, частично, информации о давлении, полученной от датчика 14 давления в трубопроводе 524 выше по потоку компрессора 520. В частности, элемент 12 регулирования давления может быть выполнен для открытия и закрытия клапана 533 в трубопроводе 530 для разрешения или запрета прохождения по нему потока. Регулирование расхода потока, выходящего из компрессора 520 с сальниковыми уплотнениями по вентиляционному трубопроводу 524 может осуществляться элементом 16 регулирования давления на основе, по меньшей мере, частично, информации о давлении, полученной от датчика 18 давления. В частности, элемент 16 регулирования давления может быть выполнен для открытия и закрытия клапана 531 в трубопроводе 524 для разрешения или запрета прохождения по нему потока. Клапан 532 в трубопроводе 524 может быть открыт и закрыт на основе сигналов управления от элемента 20 регулирования давления, получающего информацию от датчика 22 давления, измеряющего давление в трубопроводе 534 выхлопного потока турбины ниже по потоку рекуперативного теплообменника 529. Элемент 20 регулирования давления может быть также выполнен для управления открытием и закрытием клапана 519 в отношении потока CO_2 , поступающего в компрессор 520 с сальниковыми уплотнениями.

Элемент 24 регулирования уровня жидкости может быть выполнен для управления потоком жидкой воды из хладоохладителя 540, выделенной из выхлопного потока турбины в трубопроводе 534. Элемент 24 регулирования уровня жидкости может открывать и закрывать клапан 542 в трубопроводе 541 на основе, по меньшей мере, частично, информации, полученной от датчика 26 уровня.

Поток CO_2 , рециркулируемого обратно в камеру 511 сгорания и в другие компоненты системы выработки энергии, может зависеть от нескольких различных элементов управления, сконфигурированных

для достижения различных целей. Например, управление отведением части потока рециркуляционного CO_2 под давлением, выходящего из компрессора 548, обратно в трубопровод 534 выхлопного потока турбины сразу же выше по потоку компрессора 548 может осуществляться элементом 28 регулирования давления на основе, по меньшей мере, частично, информации, полученной от датчика 30 давления в трубопроводе 547 между теплообменником 549 и насосом 550 потока рециркуляционного CO_2 под давлением. Управление дополнительной рециркуляцией потока CO_2 под давлением в трубопроводе 551 между компрессором 550 потока рециркуляционного CO_2 под давлением и рекуперативным теплообменником 529 может осуществляться с помощью элемента 32 управления, использующего информацию от датчика 34 расхода для определения моментов открытия и закрытия клапана 575 в трубопроводе 576, так что часть потока рециркуляционного CO_2 под давлением в трубопроводе 551 между насосом 550 и клапаном 577 возвращается обратно в трубопровод 547 между компрессором 548 и теплообменником 549. Управление потоком рециркуляционного CO_2 из компрессора 550 может осуществляться с использованием элемента 36 регулирования температуры, использующего информацию, получаемую от датчика 38 температуры, который обеспечивает информацию о температуре в трубопроводе 534 выхлопного потока турбины между турбиной 525 и рекуперативным теплообменником 526. Элемент 36 регулирования температуры может быть выполнен для открытия и закрытия клапана 577 в трубопроводе 551 для изменения количества рециркуляционного CO_2 , подаваемого в камеру 511 сгорания. Элемент 36 регулирования температуры также может быть сконфигурирован для открытия и закрытия клапана 555 в трубопроводе 556 для обеспечения рециркуляции по меньшей мере части потока рециркуляционного CO_2 в трубопроводе 551 между компрессором 550 и рекуперативным теплообменником 529 в трубопроводе 547 между теплообменником 549 и компрессором 550.

Как уже указывалось, часть потока рециркуляционного CO_2 в трубопроводе 546 может подаваться через клапан 564 для соединения с кислородом в трубопроводе 507 окислителя. Управление открытием и закрытием клапана 564 может осуществляться элементом 38 регулирования давления на основе, по меньшей мере, частично, информации, получаемой от датчика 40 давления в трубопроводе 509 между теплообменником 510 и компрессором 512 окислителя. Элемент 38 регулирования давления может также управлять открытием и закрытием клапана 578 для обеспечения возможности выведения части разбавленного окислителя в трубопроводе 509 по трубопроводу 579. Еще один элемент 42 регулирования давления может управлять открытием и закрытием клапана 566 в трубопроводе 565 рециркуляции из трубопровода 509 между компрессором 512 окислителя и теплообменником 513 на основе, по меньшей мере, частично, информации, получаемой от датчика 44 давления. Также используется элемент 46 регулирования температуры, выполненный для непрерывного контроля температуры потока в трубопроводе 509, выходящего из теплообменника 513, с использованием датчика 48 температуры. Элемент 50 регулирования расхода может быть выполнен для открытия и закрытия клапана 568 в трубопроводе 567 для управления рециркуляцией разбавленного окислителя под давлением в трубопроводе 509 из точки между насосом 514 и клапаном 515 на основе, по меньшей мере, частично, информации, получаемой от датчика 52 расхода непосредственно перед насосом 514 выше по потоку.

Элемент 54 регулирования давления может обеспечивать существенное регулирование количества окислителя, проходящего в основном трубопроводе 516 окислителя и во вспомогательном трубопроводе 517 окислителя. В частности, элемент 54 регулирования давления может управлять открытием и закрытием клапана 515 в трубопроводе 509 и клапана 570 в трубопроводе 569, определяя количество разбавленного окислителя, поступающего по трубопроводу 509 в камеру сгорания, в отношении к окислителю, рециркулируемому в точку выше по потоку насоса 514. Элемент 54 регулирования давления также осуществляет управление клапаном 580, который в частности может определять количество разбавленного окислителя, направляемого в основной трубопровод 516 окислителя или направляемого во вспомогательный трубопровод 517 окислителя. Такое управление может осуществляться, по меньшей мере, частично, на основе информации, получаемой от датчика 56 давления и датчика 58 давления. Элемент 54 регулирования давления также может быть сконфигурирован для регулирования давления выше по потоку системы окислителя во время запуска энергетической установки для обеспечения возможности регулирования клапанами расхода окислителя, до того как будет работать насос 514, регулирующий расход.

Элемент 60 регулирования коэффициента может быть сконфигурирован для регулирования отношения кислорода к CO_2 в трубопроводе 509 окислителя. В частности, элемент 60 регулирования коэффициента может принимать информацию, относящуюся к расходу CO_2 в трубопроводе 546, от датчика 62 расхода и может принимать информацию, относящуюся к расходу кислорода в трубопроводе 507, от датчика 64 расхода. Кроме того, концентрация кислорода в трубопроводе 509 между клапаном 515 и рекуперативным теплообменником 529 может обеспечиваться датчиком 66 кислорода. На основе принимаемой информации элемент 60 регулирования коэффициента может открывать и закрывать клапан 508 в трубопроводе 507 для регулирования количества кислорода, добавляемого к потоку CO_2 в трубопроводе 509 для обеспечения требуемого отношения кислорода к CO_2 . Например, в некоторых вариантах отношения кислорода к CO_2 предпочтительно может быть от примерно 10:90 до примерно 90:10, более предпочтительно от примерно 10:90 до примерно 50:50, или от примерно 15:85 до примерно 30:70.

Кроме того, элемент 68 регулирования коэффициента избытка топлива и элемент 70 регулирования расхода могут быть сконфигурированы для регулирования количества окислителя, поступающего во вспомогательный трубопровод 517 окислителя на основе количества топлива, поступающего во вспомогательный топливный трубопровод 504. Для этой цели информация может быть получена от датчика 72 расхода во вспомогательном топливном трубопроводе 504, от датчика расхода в основном топливном трубопроводе 503 и от датчика 76 расхода во вспомогательном трубопроводе 517 окислителя. На основе этой информации клапан 571 может открываться или закрываться для регулирования количества окислителя, поступающего в камеру 511 сгорания по вспомогательному трубопроводу 517 окислителя.

Элемент 78 регулирования расхода может быть сконфигурирован для регулирования расхода дополнительного продувочного CO_2 , подаваемого по трубопроводам 581 и 582. Продувочный поток может потребоваться для трубопровода 516 окислителя с высоким расходом, когда по нему не подается окислитель. В этом случае гарантируется, что будет отсутствовать обратный поток продуктов сгорания в рекуперативные теплообменники 526, 527, 528 и 529. Кроме того, также обеспечивается возможность продувки основного топливного трубопровода 503, когда это необходимо.

Специалист в области техники, к которой относится объект изобретения, раскрытый в настоящем описании, может представить себе множество модификаций и других вариантов реализации объекта изобретения, на основании знания, полученного из вышеприведенного описания и прилагаемых чертежей. Поэтому следует понимать, что настоящее изобретение не должно ограничиваться описанными конкретными вариантами его осуществления, и что их модификации и другие варианты осуществления предполагаются включенными в объем, определяемый прилагаемой формулой изобретения. Хотя в настоящем описании используются конкретные термины, они используются только в целях описания и никоим образом не ограничивают объем изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для автоматизированного управления энергетической установкой, обеспечивающая возможность выполнения последовательности логических операций для регулирования расхода, приспособленной для:

получения сигнала ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, передающего величину текущей мощности, выдаваемой энергетической установкой в заданный момент времени;

получения сигнала ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ, передающего величину требуемой мощности энергетической установки в этот же заданный момент времени;

вычисления первой разности между сигналом ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ и сигналом ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ и преобразования первой разности в сигнал ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА, указывающий требуемый расход топлива, подаваемого в камеру сгорания в тот же заданный момент времени;

выработки сигнала ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ, представляющего температуру на входе турбины и выбранного из наибольшей величины из множества сигналов вычисленной температуры, каждая из которых соответственно получена в результате выполнения различных программ вычисления температуры на входе турбины;

вычисления второй разности между сигналом ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ и максимальной температурой на входе турбины; и

регулирования одного или обоих из массы и давления топлива, поступающего из системы подачи топлива в камеру сгорания, на основе выбора меньшей величины из сигнала ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА и указанной второй разности.

2. Система по п.1, приспособленная для регулирования отношения массы или объема топлива, поступающего по двум или более различным топливным линиям из системы подачи топлива в камеру сгорания.

3. Система по п.2, приспособленная для открытия/закрытия клапанов регулирования расхода в каждой из двух или более различных топливных линий.

4. Система по п.3, приспособленная для открытия/закрытия по меньшей мере одного клапана регулирования давления в каждой из двух или более различных топливных линий.

5. Система по п.2, приспособленная для регулирования отношения массы или объема окислителя, поступающего по двум или более различным линиям окислителя из системы подачи окислителя в камеру сгорания.

6. Система по п.5, причем энергетическая установка содержит, по меньшей мере, группу основных линий топлива и окислителя и группу вспомогательных линий топлива и окислителя, и система управления приспособлена для регулирования отношения топлива к окислителю в группе основных линий топлива и окислителя независимо от отношения топлива к окислителю в группе вспомогательных линий топлива и окислителя.

7. Система по п.5, причем энергетическая установка содержит линию, обеспечивающую поток рециркуляционного CO_2 , часть которого вводится в одну или более линий окислителя, и система управле-

ния приспособлена для регулирования концентрации кислорода в одной или более линий окислителя путем регулирования количества рециркуляционного CO_2 , вводимого в линию окислителя.

8. Система по п.7, причем обеспечивается регулирование концентрации кислорода в каждой из одной или более линий окислителя независимо от остальных линий окислителя.

9. Система по п.7, приспособленная для регулирования соотношения масс или объемов окислителя, поступающего по основной линии окислителя и вспомогательной линии окислителя.

10. Система по п.2, приспособленная для закрытия клапана регулирования расхода в основной топливной линии из системы подачи топлива в камеру сгорания, так что топливо, по существу, не поступает по основной топливной линии, и для открытия клапана регулирования расхода во вспомогательной топливной линии из системы подачи топлива в камеру сгорания, так что, по существу, все топливо, поступающее в камеру сгорания, проходит по вспомогательной топливной линии.

11. Система по п.10, приспособленная для регулирования соотношения масс или объемов топлива, поступающего по основной топливной линии и вспомогательной топливной линии.

12. Система по п.10, приспособленная для обеспечения конфигурации клапана регулирования расхода в основной топливной линии и клапана регулирования расхода во вспомогательной топливной линии во время запуска энергетической установки и для синхронизации открытия клапана в основной топливной линии в соответствии с рабочим состоянием одного или обоих из турбины и компрессора, повышающего давление потока рециркуляционного CO_2 , поступающего в камеру сгорания.

13. Система по п.2, приспособленная для удерживания на одном уровне или уменьшения массы или объема топлива, поступающего по меньшей мере по одной из двух или более различных топливных линий из системы подачи топлива в камеру сгорания в ответ на входной сигнал, указывающий, что рабочая температура теплообменника приближается или превышает заранее заданную максимальную рабочую температуру или скорость повышения температуры.

14. Энергетическая установка с автоматизированным управлением, содержащая:

камеру сгорания;

турбину;

генератор;

систему подачи топлива;

систему подачи окислителя;

систему управления, имеющую множество трактов управления для автоматизированного управления по меньшей мере одной операцией в работе энергетической установки, причем система управления содержит тракт управления, приспособленный для выработки сигнала управления, который представляет собой функцию:

сравнения сигнала ФАКТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, передающего текущую мощность, выдаваемую энергетической установкой в заданный момент времени, и сигнала ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ, передающего требуемую мощность установки в этот же заданный момент времени для выработки сигнала ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА для расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания;

выработки сигнала ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ для температуры на входе турбины посредством выбора наибольшей величины из множества сигналов вычисленной температуры, каждая из которых соответственно получена в результате выполнения различных программ вычисления температуры на входе турбины, и

вычисления разности между сигналом ВХОДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТУРБИНЫ и максимальной температурой на входе турбины;

причем тракт управления содержит последовательность логических операций для выбора меньшей величины из сигнала ПОТРЕБНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА и указанной разности, и вырабатываемый сигнал управления обеспечивает регулирование одного или обоих из массы и давления топлива, поступающего из системы подачи топлива в камеру сгорания.

15. Энергетическая установка по п.14, в которой система подачи топлива содержит по меньшей мере две независимо управляемые топливные линии для подачи топлива в камеру сгорания.

16. Энергетическая установка по п.15, в которой система подачи топлива содержит по меньшей мере один клапан регулирования расхода и по меньшей мере один клапан регулирования давления в каждой из указанных по меньшей мере двух независимо управляемых топливных линий.

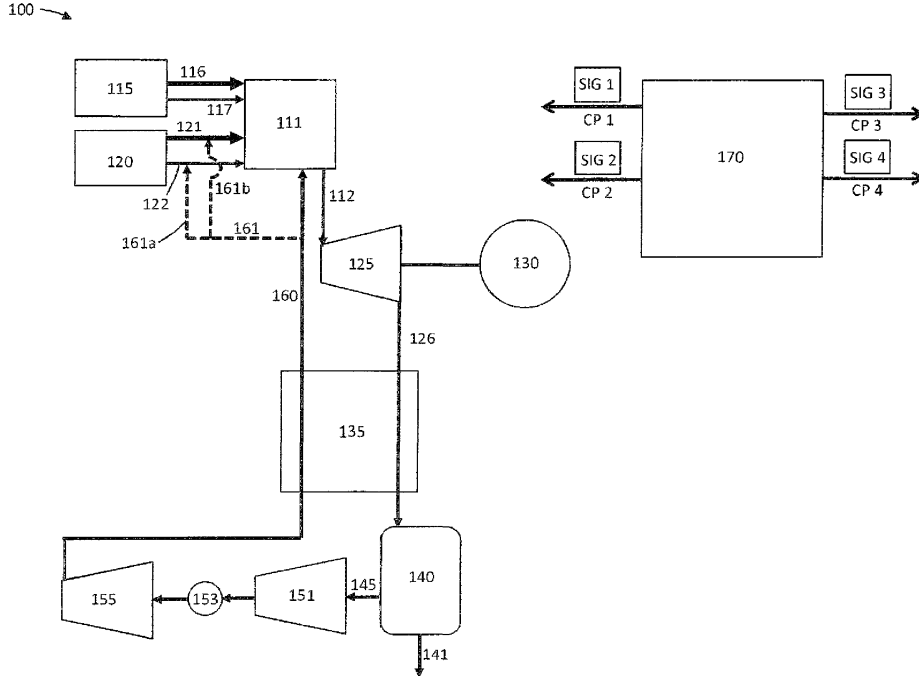
17. Энергетическая установка по п.15, в которой система подачи окислителя содержит по меньшей мере две независимо управляемые линии окислителя для подачи окислителя в камеру сгорания.

18. Энергетическая установка по п.17, в которой система подачи окислителя содержит по меньшей мере один клапан регулирования расхода в каждой из указанных по меньшей мере двух независимо управляемых линий окислителя.

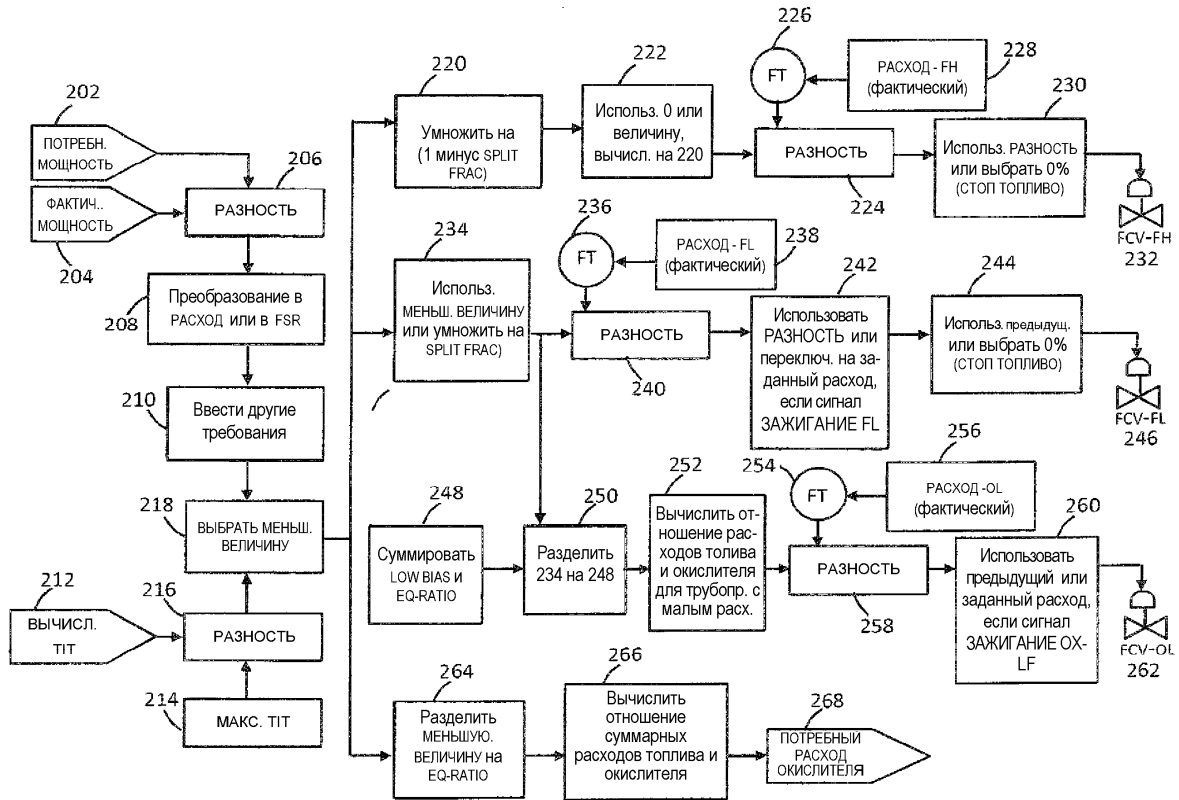
19. Энергетическая установка по п.18, в которой система подачи окислителя содержит элемент регулирования отношения масс или объемов, сконфигурированный для регулирования соотношения масс или объемов окислителя, подаваемого по указанным по меньшей мере двум независимо управляемым линиям окислителя.

20. Энергетическая установка по п.19, в которой одна из указанных по меньшей мере двух незави-

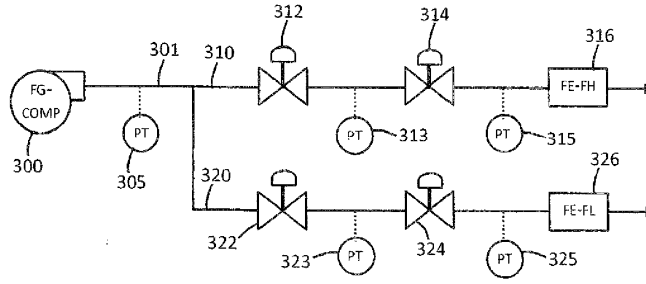
симо управляемых линий окислителя представляет собой вспомогательную линию окислителя, содержащую датчик расхода, и одна из указанных по меньшей мере двух независимо управляемых топливных линий представляет собой вспомогательную топливную линию, содержащую датчик расхода, и система управления содержит элемент регулирования отношения, сконфигурированный для открытия или закрытия клапана регулирования расхода во вспомогательной линии окислителя на основе массового или объемного расхода топлива во вспомогательной топливной линии.



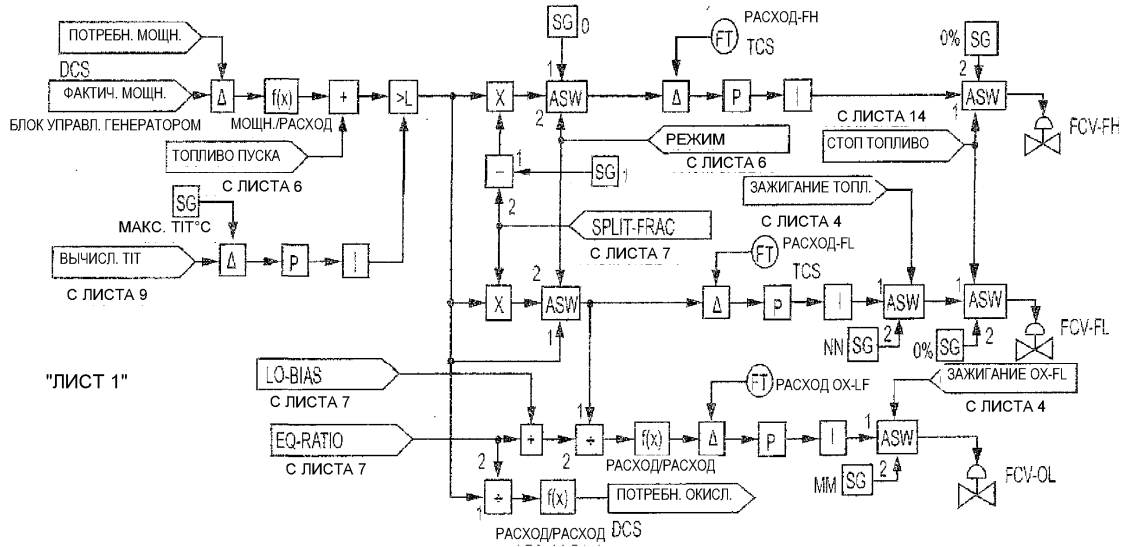
Фиг. 1



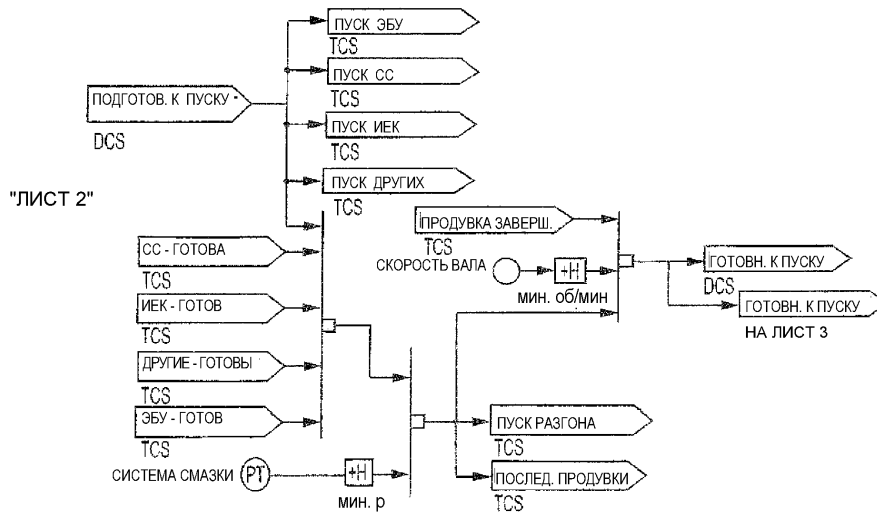
Фиг. 2



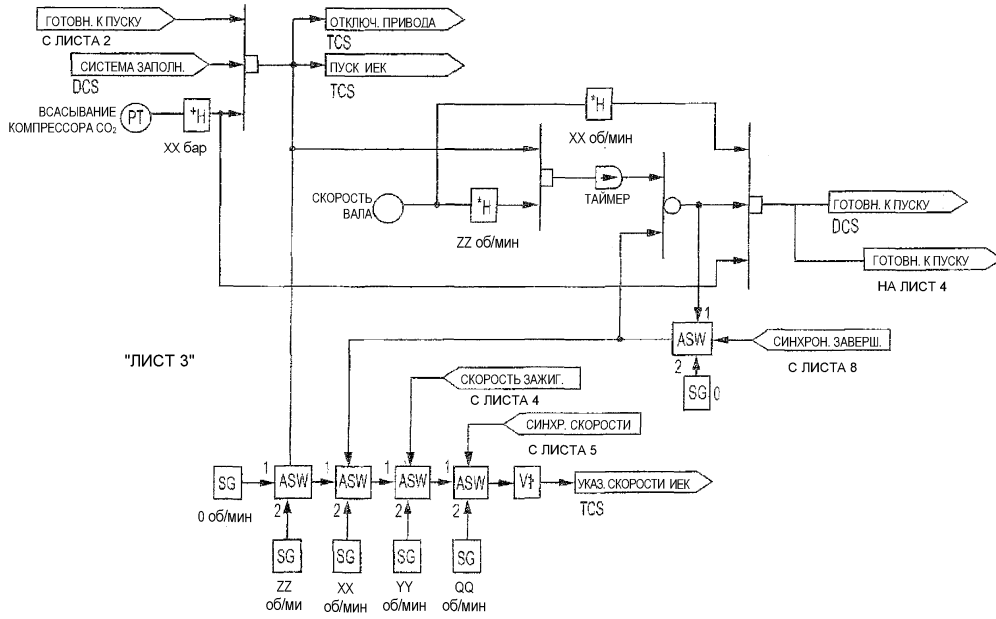
Фиг. 3



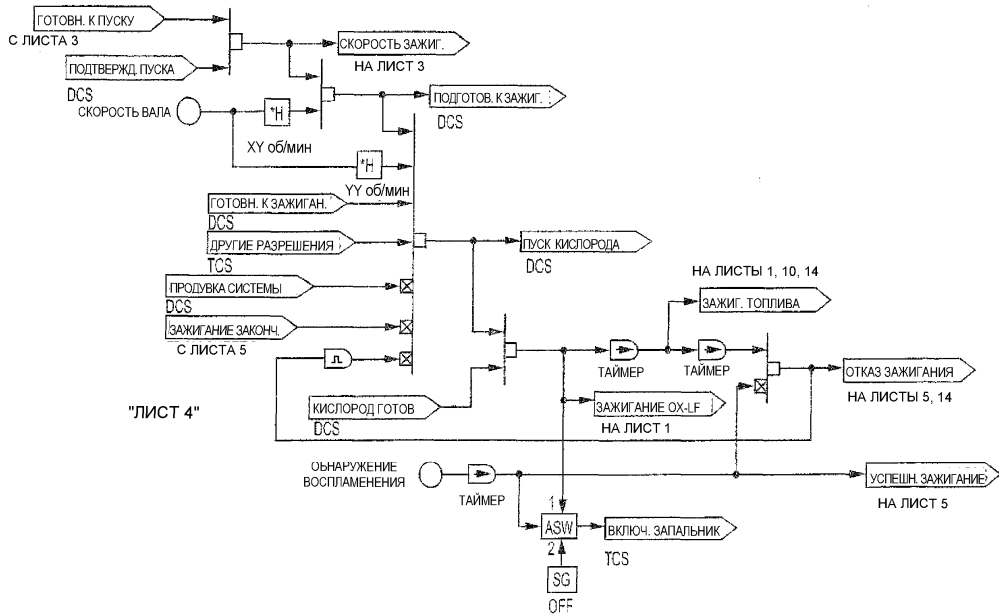
Фиг. 4А



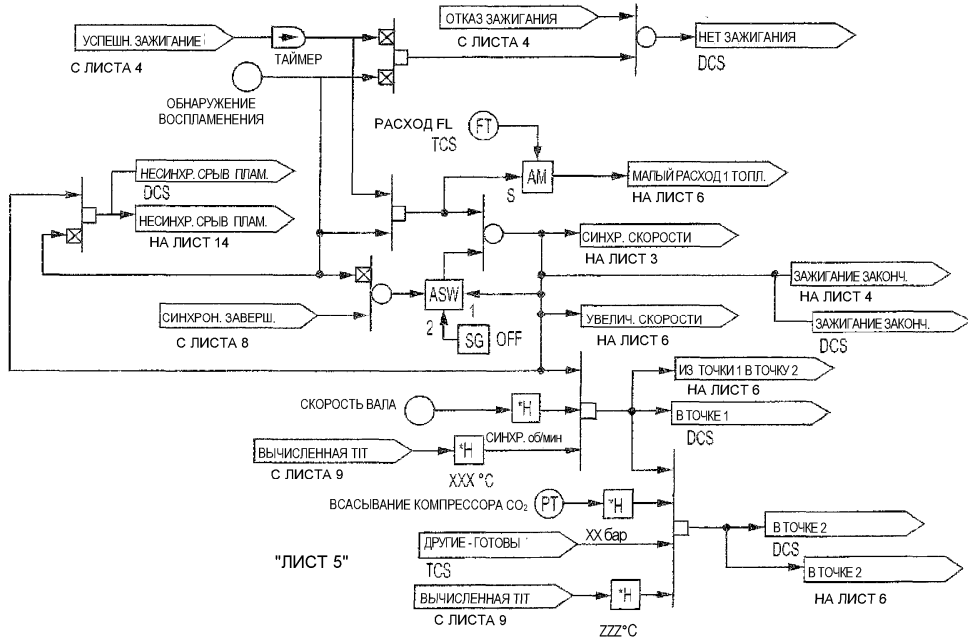
Фиг. 4Б



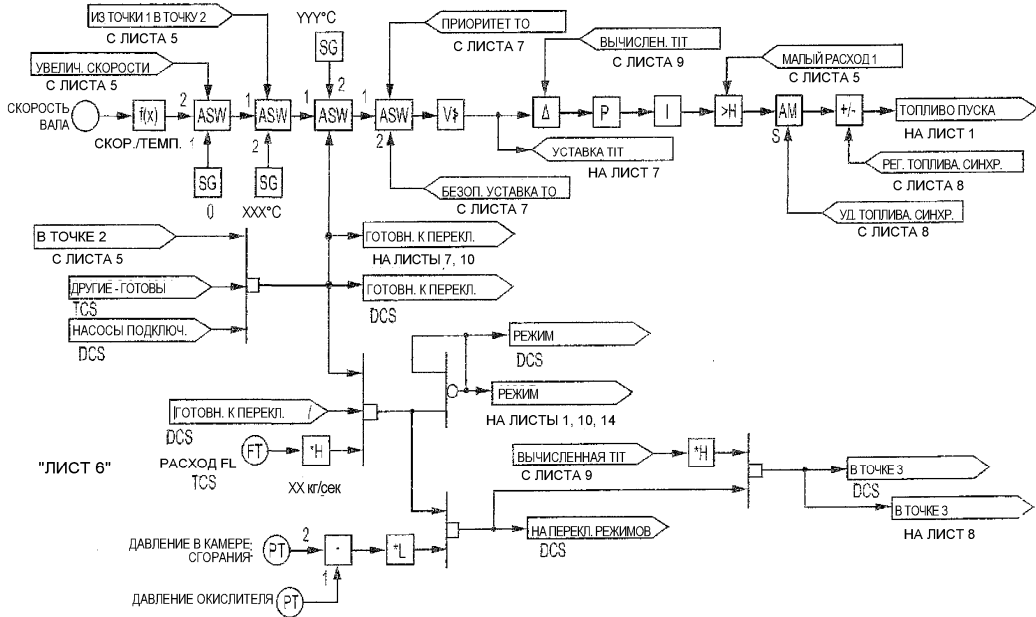
Фиг. 4B



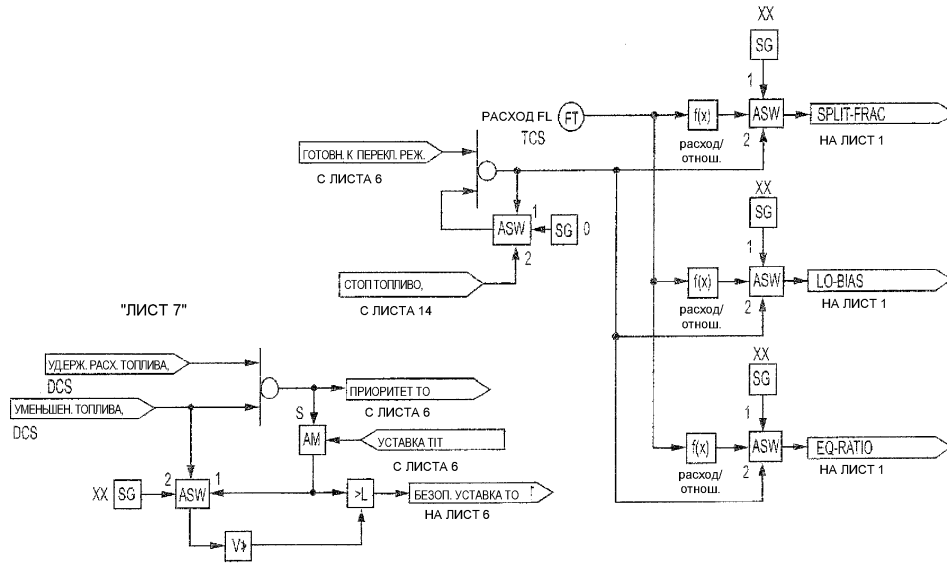
Фиг. 4Г



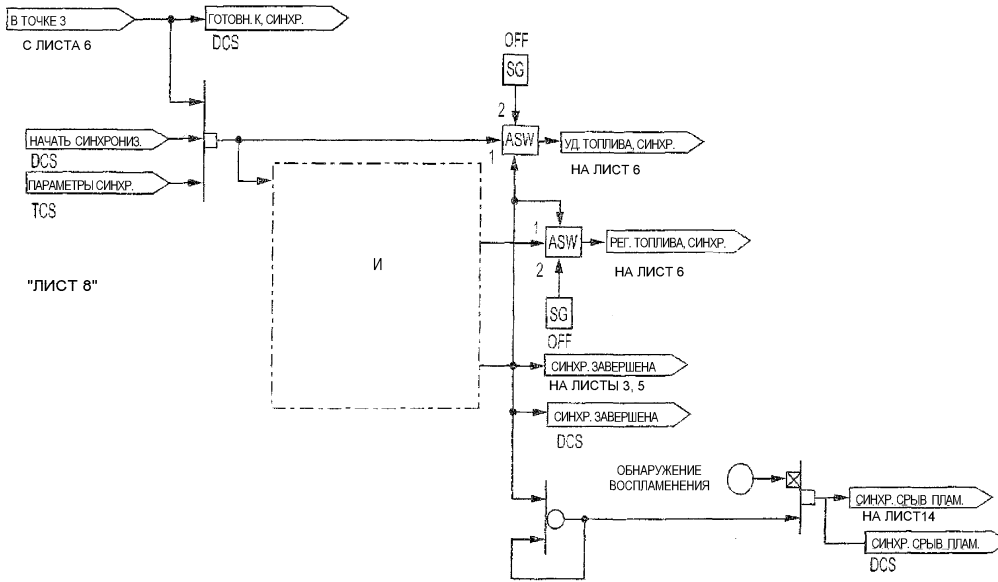
Фиг. 4Д



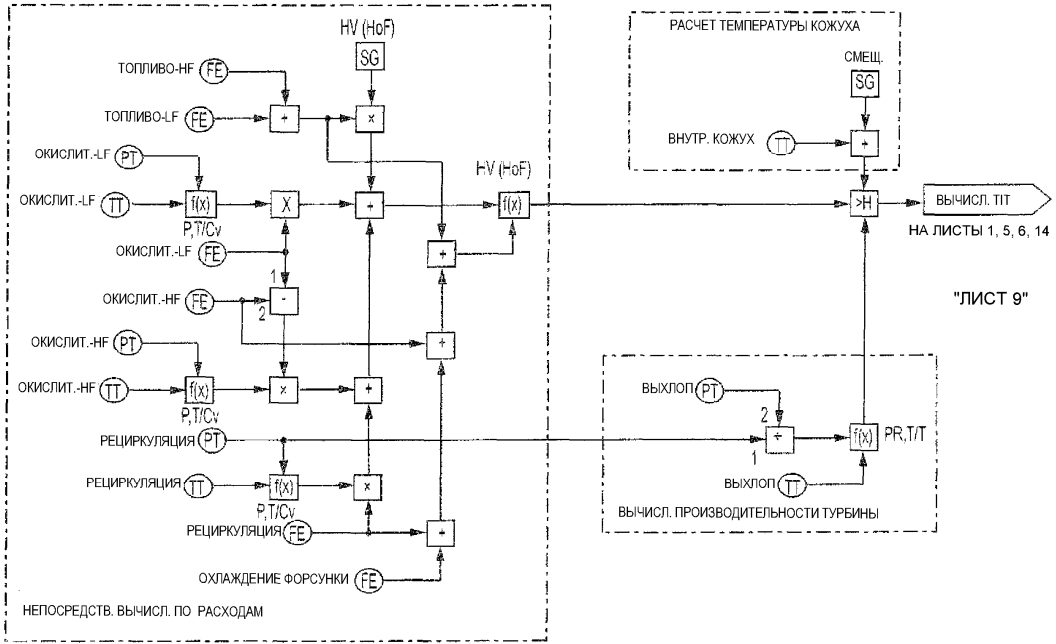
Фиг. 4Е



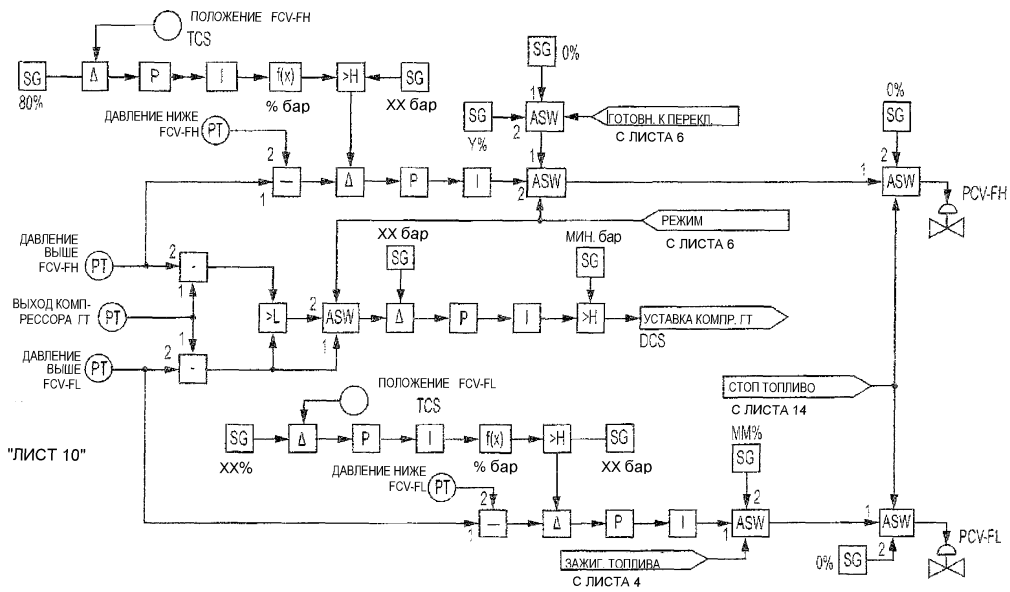
Фиг. 4Ж



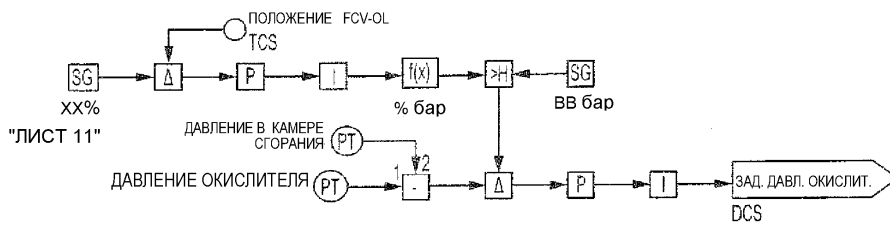
Фиг. 43



Фиг. 4И

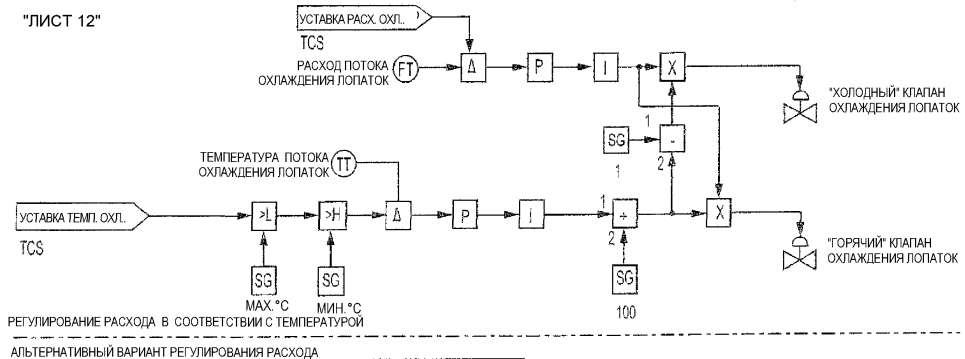


Фиг. 4К



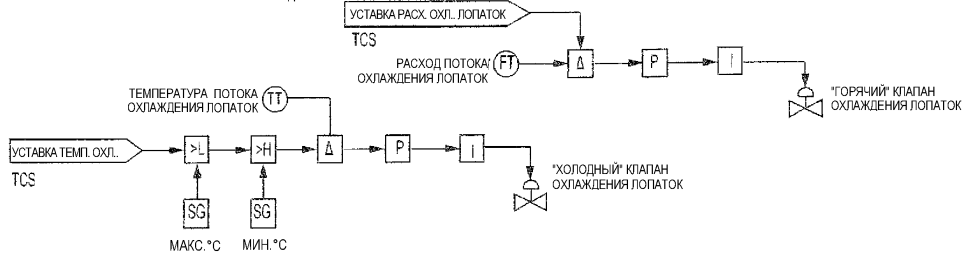
Фиг. 4Л

"ЛИСТ 12"



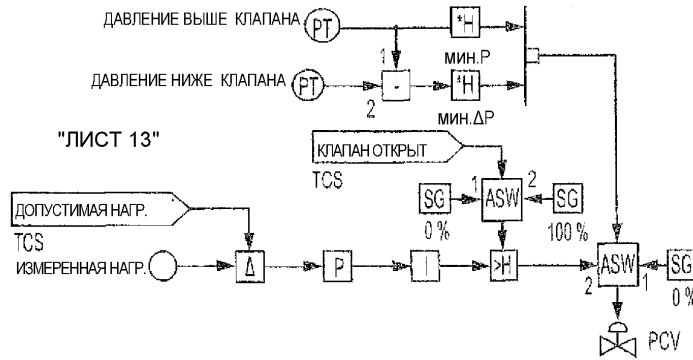
РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДА В СООТВЕТСТВИИ С ТЕМПЕРАТУРОЙ

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВАРИАНТ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА



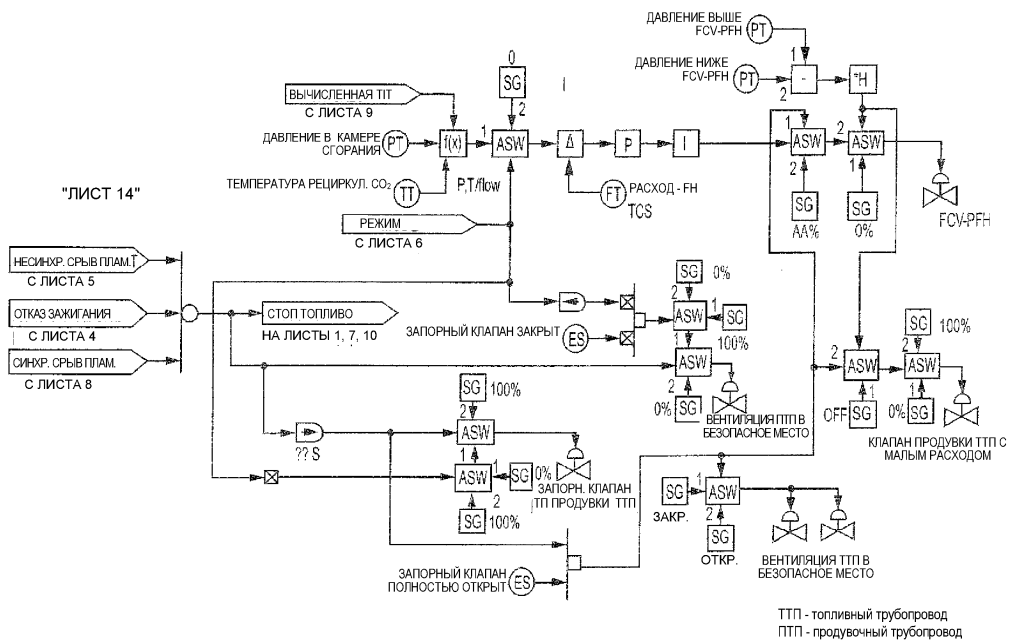
Фиг. 4М

"ЛИСТ 13"

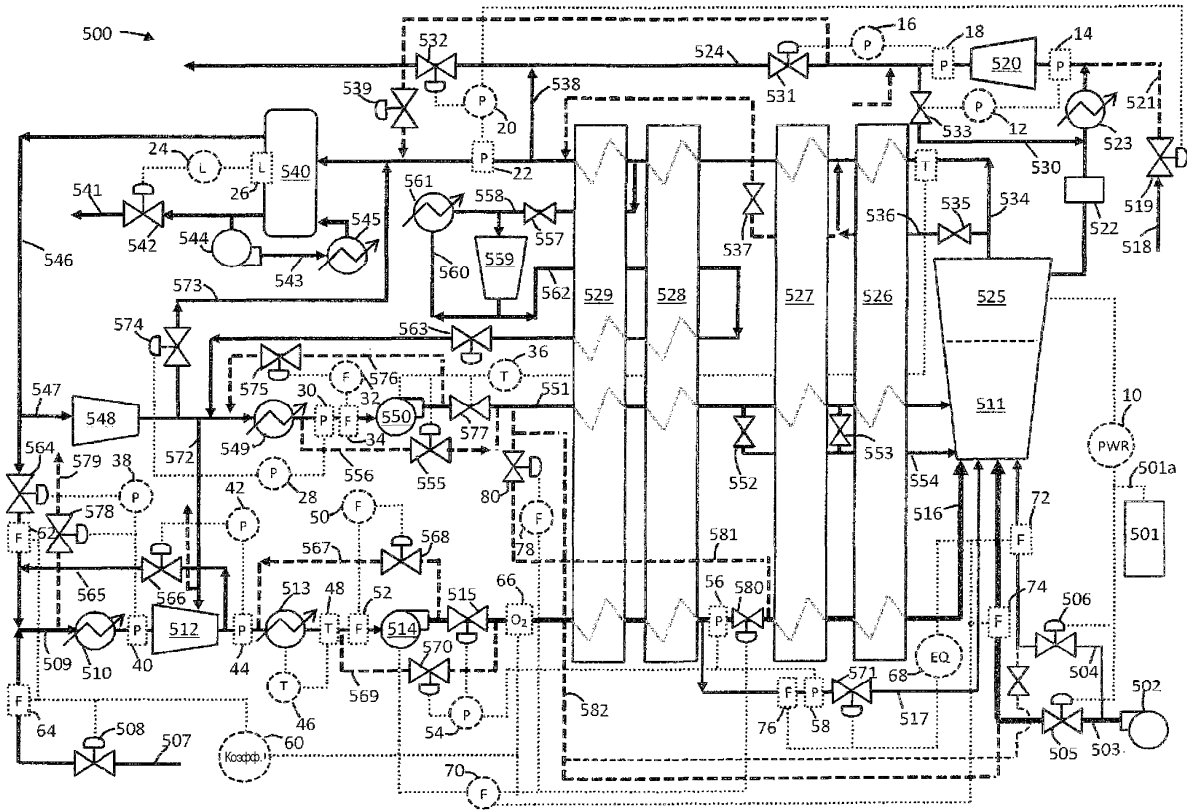


Фиг. 4Н

"ЛИСТ 14"



Фиг. 4О



Фиг. 5



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2