

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202390249

(13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2023.03.06

(51) Int. Cl. F02C 9/00 (2006.01)  
F01D 15/10 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2021.06.24

(54) СПОСОБ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ СИСТЕМОЙ И СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ

(31) 102020000016009

(72) Изобретатель:

(32) 2020.07.02

Претини Лука (IT)

(33) IT

(86) PCT/EP2021/025231

(74) Представитель:

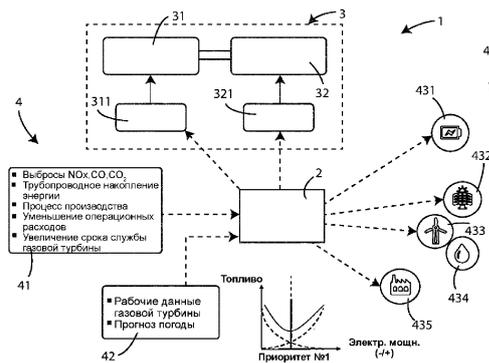
(87) WO 2022/002436 2022.01.06

Кузнецова С.А. (RU)

(71) Заявитель:

НУОВО ПИНЬОНЕ ТЕКНОЛОДЖИ -  
С.Р.Л. (IT)

(57) Раскрыт способ мониторинга и управления гибридной газотурбинной системой, который осуществляется блоком управления. Способ реализован путем выполнения оптимизации между рабочими переменными для получения управляющих сигналов для управления работой гибридной газотурбинной системы. Кроме того, раскрыта гибридная газотурбинная система, которая содержит по меньшей мере одну газовую турбину, предназначенную для работы на топливе, и по меньшей мере один электродвигатель/генератор, способный функционировать в качестве генератора или в качестве двигателя. Гибридная газотурбинная система содержит логический блок управления, функционально соединенный с модулем контроллера управления подачей топлива и контроллером электродвигателя/генератора.



A1

202390249

202390249

A1

## СПОСОБ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ СИСТЕМОЙ И СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ

### ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0001] Настоящее изобретение относится к усовершенствованиям способа управления гибридными газотурбинными системами в областях, где они применяются в качестве механического привода, которые способны повысить эффективность в ходе эксплуатации. В частности, помимо прочего, данное изобретение относится к гибридной газотурбинной системе, применяемой в качестве привода нагрузки, например, компрессоров для жидких хладагентов в установках по производству сжиженного природного газа, компрессоров для сжатия газа при перекачке по трубопроводу, насоса или любой другой роторной машины.

[0002] Изобретение также относится к системе мониторинга и управления, которая дает возможность реализовать способ.

### ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0003] В настоящее время синергия между газовой турбиной и электродвигателем/генератором, т. е. так называемыми обратимыми электрическими устройствами (которые также могут работать в качестве генератора), такими как электродвигатели с частотно-регулируемым приводом (электродвигатели VFD), представляет собой ведущую тенденцию в области конструирования систем, предназначенных для использования в качестве привода механических нагрузок.

[0004] В частности, на рынке представлены так называемые «линии», «линейные системы» или т. п., в которых электромашина или, более конкретно, электродвигатель/генератор связан с газовой турбиной для использования в качестве привода нагрузки, такой как один или более компрессоров или насосов. В настоящем документе, только из соображений простоты упоминания, система, содержащая газовую турбину, электродвигатель/генератор и нагрузку, например, компрессор, обычно соединенный с электродвигателем/генератором посредством муфты сцепления или разъединяющего устройства, в общем случае, может

называться «линией», «линейной системой» или «линейной установкой». В настоящем документе принято, что система, содержащая газовую турбину, соединенную с электродвигателем/генератором, может упоминаться как «гибридная газотурбинная система» или «гибридная газотурбинная линия».

**[0005]** Электродвигатели/генераторы можно использовать для добавления механической мощности нагрузке, чтобы поддерживать общую механическую мощность на валу нагрузки на постоянном уровне, когда доступная мощность турбины уменьшается, и/или для увеличения общей механической мощности, используемой для приведения в действие нагрузки. Эту функцию электродвигателя/генератора называют «вспомогательной мощностью». Другой электрический двигатель или в альтернативном варианте пневматический двигатель/генератор, как правило, используют также в качестве пускового двигателя для ускорения газовой турбины от нуля до номинальной скорости.

**[0006]** Примеры гибридных газотурбинных систем, предназначенных для использования в качестве привода механических нагрузок, представляют собой системы, которые используют в применениях, связанных со сжиженным природным газом (СПГ). Сжиженный природный газ (СПГ) получают в процессе ожижения, в котором природный газ охлаждают с использованием одного или более циклов охлаждения в каскадной конфигурации до тех пор, пока он не станет жидким. Природный газ часто сжижают для хранения или транспортировки, особенно при отсутствии возможности транспортировки трубопроводом. Охлаждение природного газа осуществляют с помощью закрытых или открытых холодильных циклов. Хладагент обрабатывают в компрессоре или компрессорах, конденсируют и расширяют. Расширенный охлажденный хладагент используют для удаления тепла из природного газа, протекающего в теплообменнике.

**[0007]** В данной области известно несколько вариантов конфигурации линейных систем. Один из наиболее распространенных вариантов включает газовую турбину, соединенную с одним или несколькими каскадно соединенными компрессорами, причем последний компрессор каскада механически соединен с электродвигателем/генератором; или, в качестве альтернативы, газовая турбина

соединена с электродвигателем/генератором, который затем соединен с компрессором.

[0008] Управление линейными системами оказывается очень сложным, поскольку существует ряд переменных, которые необходимо учитывать и согласовывать для работы с такой системой. Существующие в настоящее время устройства, которые, как указано, являются очень сложными, имеют ряд датчиков и исполнительных механизмов, соединенных с компьютерными системами управления, с помощью которых контролируют и должным образом управляют работой линейной системы.

[0009] Однако современные установки для генерации электроэнергии должны соответствовать ряду ограничений не только технического типа. В частности, из соображений защиты окружающей среды обычно требуется уменьшать выбросы CO, CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, которые зависят от типа работающей газовой турбины и почти линейно увеличиваются с мощностью, генерируемой газовой турбиной. Управление выбросами требует управления несколькими параметрами, которые могут изменяться в зависимости от температуры окружающей среды, степени влажности, состава топлива и других параметров, которыми оператору обычно бывает нелегко управлять всеми вместе.

[00010] Кроме того, обычно требуется, чтобы техническое обслуживание линейной системы было запрограммировано на увеличение срока службы. Однако для увеличения срока службы линейных систем необходимо осуществлять управление эксплуатацией в соответствии с конкретным применением. Другими словами, в зависимости от окружающей среды и обычных условий эксплуатации, план технического обслуживания линейной системы может значительно изменяться.

[00011] Кроме того, и в связи с вышеизложенным, обычно требуется минимизировать капитальные затраты и эксплуатационные расходы, связанные с эксплуатацией любой гибридной газотурбинной системы или линейной системы и, таким образом, максимизировать прибыль, получаемую от любого устройства, причем всегда требуется одновременно минимизировать выбросы газовых турбин или, в некоторых случаях, сохранять их ниже определенных пороговых значений,

часто установленных законодательно. Это означает, что для контроля и управления такими системами или устройствами требуются высокоспециализированные операторы. В частности, эта деятельность требует от операторов высокого уровня образования и глубокого знания систем контроля и управления.

**[00012]** Известно, что современные установки снабжены большим количеством датчиков и исполнительных механизмов, необходимых для эксплуатации этих установок, которые должным образом запрограммированы компьютерными системами. Однако иногда такие компьютерные системы не способны управлять гибридными газотурбинными системами с обеспечением оптимальной работы, способствующей увеличению прибылей. Кроме того, обычный оператор может не иметь всех технических и коммерческих навыков, необходимых для оценки правильных соответствий и баланса плюсов и минусов при распределении подачи энергии между работой газовой турбины (которая потребляет топливо) и работой электродвигателя/генератора (который либо потребляет, либо производит электроэнергию), особенно в случае многокомпонентных установок, как описано выше.

**[00013]** Таким образом, существует увеличивающийся спрос на гибридные газотурбинные системы или линейные системы, выполненные с возможностью оптимизации эксплуатации с учетом выбросов вредных веществ и некоторых других параметров, не обязательно только физических, для максимизации прибыли и эффективности гибридной газовой турбины.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

**[00014]** В одном аспекте объект изобретения, описанный в данном документе, относится к способу мониторинга и управления гибридной газотурбинной системой. Гибридная газотурбинная система содержит по меньшей мере одну газовую турбину, предназначенную для работы на топливе, по меньшей мере один электродвигатель/генератор, выполненный с возможностью работы в качестве генератора или в качестве двигателя, и множество исполнительных механизмов для управления ими. Способ реализован с помощью логического блока управления. Способ включает следующие этапы: получение набора рабочих переменных  $x$  для

определения рабочих состояний газовой турбины и электродвигателя/генератора; получение набора внешних переменных  $w$ ; выбор набора управляющих переменных  $u$  для управления рабочими состояниями газовой турбины и электродвигателя/генератора; задание набора оптимизирующих переменных  $y$ , причем значения оптимизирующих переменных  $y$  зависят от рабочих переменных  $x$ , управляющих переменных  $u$  и внешних переменных  $w$ . Значения оптимизирующих переменных  $y$  необходимо подстраивать для их оптимизации. Кроме того, способ включает этапы обработки одной или более рабочих переменных  $x$ , управляющих переменных  $u$  и внешних переменных  $w$  путем оптимизации значений оптимизирующих переменных  $y$ , а также генерирование и передачу одного или более управляющих сигналов на основе управляющих переменных  $u$ , которые получены оптимизацией оптимизирующих переменных  $y$ , для управления исполнительными механизмами гибридной газотурбинной системы.

**[00015]** В одном аспекте один или более управляющих сигналов дает возможность управлять подачей топлива в газовую турбину и мощностью, генерируемой или трансформируемой электродвигателем/генератором.

**[00016]** В другом аспекте в настоящем документе раскрыта газовая турбина, содержащая модуль контроллера управления подачей топлива, функционально соединенный с логическим блоком управления. Электродвигатель/генератор содержит контроллер электродвигателя/генератора, функционально соединенный с логическим блоком управления. Логический блок управления выполнен с возможностью передачи управляющих сигналов, генерируемых на этапе генерации, модулю контроллера управления подачей топлива и контроллеру электродвигателя/генератора для управления работой газовой турбины и работой электродвигателя/генератора.

**[00017]** В другом аспекте логический блок управления соединен с источником энергии или энергоустановкой. Примеры типов энергоустановок могут включать: установку сетевого накопления энергии, энергоустановку с солнечной панелью, ветряную энергоустановку, гидротермальную энергоустановку и тепловую энергоустановку.

[00018] В одном аспекте газовая турбина соединена с нагрузкой, такой как насос или компрессор. Кроме того, газовая турбина соединена с нагрузкой через разъединяющее устройство, такое как самосинхронизирующаяся муфта сцепления или обгонная муфта. Разъединение или соединение, выполняемое с помощью разъединяющего устройства, может осуществляться вручную оператором и/или автоматически, исполнительным механизмом.

[00019] В одном аспекте объект изобретения, описанный в данном документе, относится к гибридной газотурбинной системе, содержащей по меньшей мере одну газовую турбину, управление которой должно осуществляться путем регулирования подачи топлива, содержащую модуль контроллера управления подачей топлива, выполненный с возможностью управления подачей топлива в газовую турбину. Гибридная газотурбинная система также содержит по меньшей мере один электродвигатель/генератор, выполненный с возможностью работы в качестве генератора или в качестве двигателя, содержащий контроллер электродвигателя/генератора, выполненный с возможностью управления и регулирования электрической мощности, генерируемой или трансформируемой электродвигателем/генератором, и логический блок управления, функционально соединенный с модулем контроллера управления подачей топлива и контроллером электродвигателя/генератора.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[00020] Описанные варианты осуществления изобретения и многие сопутствующие ему преимущества можно более полно оценить и понять в ходе изучения следующего подробного описания, рассматриваемого в связи с прилагаемыми чертежами, причем:

на фиг. 1 представлена блок-схема варианта осуществления системы мониторинга и управления гибридной газотурбинной системой;

на фиг. 2 представлен график зависимости процента работы с базовой нагрузкой по ISO газовой турбины от температуры окружающей среды;

на фиг. 3 показан график выбросов  $\text{NO}_x$ , CO и  $\text{CO}_2$  в зависимости от процента мощности газовой турбины;

на фиг. 4 представлена блок-схема варианта осуществления логического блока управления системы мониторинга и управления гибридной газотурбинной системой;

на фиг. 5 представлен первый вариант осуществления линейной системы;

на фиг. 6 представлена схема работы линейной системы, показанной на фиг. 5, в режиме стартер / источник вспомогательной мощности;

на фиг. 7 представлена схема работы линейной системы, показанной на фиг. 5, в режиме стартер/генератор;

на фиг. 8 представлен второй вариант осуществления линейной системы;

на фиг. 9 представлена схема работы линейной системы, показанной на фиг. 8, в режиме источника вспомогательной мощности / полностью электрическом режиме;

на фиг. 10 представлена схема работы линейной системы, показанной на фиг. 5, в режиме генератора;

на фиг. 11 представлена блок-схема способа мониторинга и управления гибридной газотурбинной системой и

на фиг. 12 представлена блок-схема управления модулем контроллера управления подачей топлива и/или контроллером электродвигателя/генератора.

## ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

**[00021]** Турбомашинные агрегаты, такие как газовые турбины, электродвигатели/генераторы и компрессоры/насосы, могут быть соединены друг с другом в различных конфигурациях, называемых «линиями» или «линейными системами». Работа линейной системы требует управления большим количеством физических параметров, которые также зависят от параметров окружающей среды, таких как температура и влажность окружающей среды, возраста оборудования,

потерь на входе/выходе, динамики горения и других. Кроме того, может оказаться необходимой оптимизация выбросов газовых турбин для соответствия законам, правилам или нормативам страны, в которой установлена и эксплуатируется линейная система. Наконец, для увеличения прибыли, получаемой от установки, необходимо поддерживать максимально низкий уровень капитальных затрат, расходов на техобслуживание и эксплуатационных расходов. Управление этим массивом данных и ограничений оказывается сложным и, следовательно, может быть полезен новый компьютерный способ оптимизации для соответствия всем вышеуказанным требованиям относительно эксплуатации и/или технического обслуживания турбомашинных агрегатов и/или вспомогательного оборудования внутри самой линейной системы.

**[00022]** На фиг. 1 схематически показаны контроль и управление гибридной газотурбинной системой, в целом обозначенной ссылочным номером 1, которая включает, в общем случае, логический блок 2 управления, гибридную газовую турбину 3, содержащую, в свою очередь, газовую турбину 31 и электродвигатель/генератор 32, причем оба эти агрегата функционально соединены с логическим блоком 2 управления через модуль 311 контроллера управления подачей топлива и контроллер 321 электродвигателя/генератора, соответственно. Логический блок 2 управления выполнен с возможностью управления работой гибридной газовой турбины 3, что более подробно описано ниже, необходимого для соответствия ограничениям и оптимизации использования ресурсов, а именно топлива газовой турбины 31 и энергии, потребляемой или поставляемой электродвигателем/генератором 32.

**[00023]** Логический блок 2 управления может быть реализован различными способами. В частности, в некоторых вариантах осуществления (см. также ниже) логический блок 2 управления полностью реализован в печатной плате, установленной непосредственно в системе контроля и управления гибридной газовой турбиной, с заранее установленными обрабатываемыми компонентами, такими как микропроцессор, программируемый логический контроллер (ПЛК) и т. п., которые должным образом запрограммированы для выполнения функций контроля и управления. В других вариантах осуществления логический блок 2

управления может быть по меньшей мере частично реализован в виде программного обеспечения, удаленно осуществляющего контроль и управление гибридной газотурбинной системой. В частности, в этом случае логический блок 2 управления может представлять собой, в общем случае, обычный персональный компьютер или терминал, который запрограммирован на обмен данными с гибридной газотурбинной системой и прием команды от другого устройства, возможно, удаленного относительно него.

**[00024]** Более конкретно, логический блок 2 управления выполнен с возможностью получения данных из нескольких источников 4 и, следовательно, многих типов переменных и данных, используемых в качестве входных данных для способа мониторинга и управления на основе алгоритма оптимизации. Это имеет целью создание возможности работы газовой турбины 31 всегда предпочтительно при 100%, что приводит к максимизации капитальных затрат, увеличению потока поступлений дохода и уменьшению выбросов CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> в полностью автоматическом режиме, заданном на основе технологического состояния и исходных финансовых вложений. Контроль и управление гибридной газотурбинной системой 1 также осуществляется в режиме прогнозирования, т. е., независимо от того, предполагается возобновляемая доступность, накопление энергии с использованием трубопровода в качестве емкости, продажа электроэнергии или топлива. Управление будет действовать в динамическом режиме, так что максимизация всегда будет поддерживаться на максимально возможном уровне.

**[00025]** Первая группа 41 данных или переменных содержит ранжирование целей оператора, которые, в общем случае, включают ограничения относительно выбросов CO, CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>, трубопроводное накопление энергии, которое включает способность трубопровода хранить энергию, например, при управлении трубопроводами, а также процесс производства, эксплуатационные расходы и требования к увеличению срока службы газовой турбины 31. Эти данные обычно получают от оператора.

**[00026]** Вторая группа 42 данных или переменных может содержать эксплуатационные параметры газовой турбины и прогнозы погоды. Известно, что в

действительности погода оказывает значительное влияние на работу газовой турбины.

[00027] В качестве примера, на фиг. 2 показан процент работы с базовой нагрузкой по ISO газовой турбины 31 в зависимости от температуры окружающей среды. Нетрудно увидеть, что при определенной пороговой температуре  $T_{th}$  мощность, генерируемая газовой турбиной 31, значительно уменьшается при увеличении температуры окружающей среды  $T$ . Это происходит независимо от того, работает электродвигатель/генератор 32 в режиме источника вспомогательной мощности или нет. Фактически работа электродвигателя/генератора 32 в качестве источника вспомогательной мощности оказывает только эффект сдвига порогового значения температуры  $T_{th}$  в направлении более высокой температуры (а именно, вправо по абсциссе графика). На фиг. 3 можно видеть, что выбросы  $NO_x$  (кривая а),  $CO$  (кривая б) и  $CO_2$  (кривая с) увеличиваются с разными скоростями в зависимости от мощности, поставляемой газовой турбиной 31 (выражена в процентах от общей мощности). Таким образом, объединяя информацию, полученную из двух графиков, показанных на фиг. 2 и 3, можно легко сделать логическое заключение, что увеличение температуры окружающей среды  $T$  обуславливает снижение эксплуатационных характеристик газовой турбины 31 и, следовательно, приводит, в свою очередь, к выбросам  $CO$ ,  $CO_2$  и  $NO_x$ .

[00028] Как показано на Фиг. 1, третья группа данных 43 может быть получена из одного или более источников энергии или энергоустановок, с которыми соединена гибридная газотурбинная система 3, таких как, например, установка 431 сетевого накопления энергии, энергоустановка 432 с солнечной панелью, ветряная энергоустановка 433, гидротермальная энергоустановка 434 и тепловая энергоустановка 435. Эти данные относятся, в частности, к спросу и возможностям поставки энергии различными установками. Ниже рассматриваемые данные будут описаны более подробно.

[00029] Газовая турбина 31 может быть различных типов, таких как, например, помимо прочего: газовая турбина большой мощности или газовая турбина на базе авиационного двигателя. В случае установки различных типов газовых турбин 31,

связанные с ними переменные или параметры могут изменяться. Однако установка различных газовых турбин 31 или другой возможной гибридной архитектуры, что более подробно описано ниже, не изменяет объем защиты решения, раскрытого в данном документе.

**[00030]** Электродвигатель/генератор 32 также может быть различных типов. В частности, тип электродвигателя/генератора 32 представляет собой электродвигатель 32 с приводом с регулируемой частотой вращения (электродвигатель VFD), который часто используется в полевых условиях в комбинации с газовыми турбинами 31 для нескольких функций и, в частности, в качестве генератора или двигателя, что более подробно описано ниже. Применение такого типа электродвигателя/генератора 32 часто обусловлено тем фактом, что он особенно хорошо подходит для электрического управления.

**[00031]** В некоторых вариантах осуществления и, в частности, в показанном на фиг. 4, логический блок 2 управления может содержать процессор 21, шину 22, с которой соединен процессор 21, базу 23 данных, соединенную с шиной 22 с возможностью доступа и управления посредством процессора 21, машиночитаемую память 24, также соединенную с шиной 22 с возможностью доступа и управления посредством процессора 21, приемо-передаточный модуль 25, соединенный с шиной 22, выполненный с возможностью передачи управляющих сигналов в модуль 311 контроллера управления подачей топлива газовой турбины 31 и в контроллер 321 электродвигателя/генератора 32 для управления работой гибридной газотурбинной системы 3 в различных возможных режимах эксплуатации. Фактически описанный в данном документе способ мониторинга и контроля управляет газовой турбиной 31 и электродвигателем/генератором 32 для оптимизации работы гибридной газотурбинной системы 3. Оптимизация гибридной газотурбинной системы 3 достигается с помощью подходящей «модуляции» командных сигналов, обработанных процессором 21, выполняющим одну или более компьютерных программ, отправленных в модуль 311 контроллера управления подачей топлива и в контроллер 321 электродвигателя/генератора. Более конкретно, модуль 311 контроллера управления подачей топлива и контроллер 321

электродвигателя/генератора, соответственно, управляют исполнительными механизмами газовой турбины 31 и электродвигателя/генератора 32 для выбора рабочих схем их эксплуатации. В этом варианте осуществления логический блок управления установлен рядом с линейной системой.

**[00032]** Логический блок 2 управления выполнен с возможностью выполнения одной или более компьютерных программ для реализации способа или алгоритма оптимизации управления гибридной газотурбинной системой 3. В некоторых вариантах осуществления логический блок 2 управления может представлять собой физическое аппаратное обеспечение, возможно, помещенное рядом с установкой гибридной газовой турбины 3 или расположенное на расстоянии. В некоторых вариантах осуществления логический блок 2 управления может также находиться или работать в облаке. В этом варианте осуществления требуется, чтобы только часть логического блока 2 управления, которая передает управляющий сигнал, была установлена рядом с линейной системой, в то время как часть, ответственная за обработку данных, может быть расположена удаленно по отношению к линейной системе и, как указано, в облачной системе или вблизи, или в месте, в котором расположен пункт управления (или терминалы компьютера/сервера), при этом пункт управления / компьютер / сервер соединены проводными или беспроводными средствами с линейной системой или частью, которая передает управляющий сигнал.

**[00033]** Способ контроля и управления, основанный на алгоритме оптимизации, один из вариантов осуществления которого более подробно описан ниже, имеет в качестве входных данных данные и переменные, поступающие из источников 4, а именно, первую 41, вторую 42 и третью 43 группы данных и переменных. Эти группы 41, 42 и 43 данных затем комбинируют, например, в три набора или вектора для обработки. Способ контроля и управления дает возможность обрабатывать все данные и переменные или их часть, так что способ допускает гибкость. Таким образом, тот же алгоритм, на котором основан способ контроля и управления, может использоваться для оптимизации подмножества данных или для адаптации к различным вариантам конфигурации гибридных газотурбинных систем. Это осуществляется, что более подробно описано ниже, путем установки на нуль или

единицу (или, в общем случае, на значение, отличное от нуля) набора весовых коэффициентов, используемых для выбора или отказа для одного или более параметров или переменных.

**[00034]** Способ/алгоритм оптимизации мониторинга и управления основан на системе уравнений для многофакторного регрессионного анализа в задаче многоцелевой оптимизации. Алгоритм может быть создан с использованием следующей системы уравнений

$$\begin{aligned} & \min_u [ f_1(x, u, w), f_2(x, u, w), \dots, f_k(x, u, w) ] \\ & \text{s. t.} \\ & x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \\ & u_{\min} \leq u \leq u_{\max} \\ & \text{где} \\ & x \in \mathbb{R}^b := \text{вектор состояния} \\ & u \in \mathbb{R}^m := \text{вектор управляющих переменных} \\ & w \in \mathbb{R}^q := \text{вектор внешних параметров} \end{aligned}$$

**[00035]** В частности, существуют три разных вектора переменных, где управляющие функции  $f_k(x, u, w)$  представляют собой зависимости между различными переменными модели, что более подробно описано ниже.

**[00036]** Вектор переменных  $x$  содержит переменные состояния и может содержать как измеренные значения (полученные от приборов), так и расчетные значения (рассчитанные с помощью таблиц и/или известных функций) или оценочные значения (рассчитанные с помощью методов оценки). Такой вектор переменных состояния  $x$  описывает рабочее состояние газовой турбины 31 и электродвигателя/генератора 32. Ниже представлен пример переменных состояния  $x$ , представленных в виде вектора, с учетом того, что могут рассматриваться различные переменные или дополнительные переменные

$x =$

давление окружающей среды
температура окружающей среды
влажность окружающей среды
температура на входе в турбину
давление на входе в турбину
температура выхлопа турбинного компрессора
выпускное давление турбинного компрессора
воздушный поток турбинного компрессора
температура топлива
состав топлива
режим горения
частота вращения ротора турбины большой мощности
температура первого сопла,
температура выхлопа турбины большой мощности
выпускное давление турбины большой мощности
поток через турбину большой мощности
повышение частоты вращения ротора турбины
повышение температуры выхлопа турбины
повышение потока через турбину
частота вращения ротора турбины малой мощности
температура выхлопа турбины малой мощности
поток через турбину малой мощности
давление на входе в компрессор, работающий от привода
температура на входе в компрессор, работающий от привода
поток на входе в компрессор, работающий от привода
температура на выходе из компрессора, работающего от привода
давление на выходе из компрессора, работающего от привода
мощность электродвигателя
выбросы
срок службы
обратная связь сцепления
:

[00037] Другой вектор  $u$  содержит управляющие переменные, которые представляют собой выходные данные логического блока 2 управления, предназначенные для приведения в действие модуля 311 контроллера управления подачей топлива и контроллера 321 электродвигателя/генератора. Пример управляющей переменной  $u$ , представленный как вектор-столбец, приведен ниже

$u =$

управляющий сигнал для топлива
управляющий сигнал для входных заслонок
управляющий сигнал для поворотных лопаток статора
управляющий сигнал для поворотных заслонок перепуска воздуха
управляющий сигнал для перепускного клапана
управляющий сигнал для дренажных перепускных заслонок
управляющий сигнал для осевого противопомпажного клапана
управляющий сигнал для направляющих заслонок сопла
управляющий сигнал для центробежного противопомпажного клапана
управляющий сигнал для входных заслонок компрессора
заданная уставка для двигателя
заданная уставка для реактивной мощности
:

**[00038]** Третий вектор переменных  $w$  содержит внешние переменные или данные, или параметры, которые могут включать также экономические параметры и ограничения, такие как затраты на топливо или налоги, подлежащие начислению за эксплуатацию системы. Управляющие данные или переменные  $w$  включают фактически данные и ограничения, обычно задаваемые оператором или внешним агентом. Пример внешних переменных представлен в следующем векторе

$$w = \begin{bmatrix} \text{стоимость топлива} \\ \text{продажная цена электроэнергии} \\ \text{стоимость электроэнергии} \\ \text{налог на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу} \\ \text{затраты на техническое обслуживание} \\ \text{доступность дополнительной энергии} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

**[00039]** Переменные, обработанные способом мониторинга и управления гибридной газотурбинной системой, предназначены для обработки трех наборов переменных, а именно вышеупомянутых переменных состояния  $x$ , управляющих переменных  $u$  и внешних переменных  $w$ . Очевидно, что все переменные, способные характеризовать работу гибридной газовой турбины 3 или, в общем случае, линейной системы, в которой присутствует гибридная газотурбинная система 3, могут включать дополнительные переменные или их группировки. Способ управления гибридной газотурбинной системой 3 оперирует набором оптимизирующих переменных,  $y_i$ , подлежащих оптимизации. Эти оптимизирующие или целевые переменные  $y_i$  могут отличаться от переменных состояния  $x$ , управляющих переменных  $u$  и внешних переменных  $w$  или даже их подмножества. Оптимизирующие переменные  $y_i$  также можно представить в виде вектора-столбца.

**[00040]** Каждая из оптимизирующих переменных  $y_i$  выражена конкретной рабочей функцией  $f_i(x, u, w)$ , описывающей зависимость, которая также может быть нелинейной. Затем оптимизированное значение переменных состояния  $x$ , управляющих переменных  $u$  и внешних переменных  $w$  рассчитывают минимизацией нормы  $\| y_i - f_i(x, u, w) \|^2$  для каждой оптимизирующей переменной  $y_i$  следующим образом

$$\min_u \alpha_1 \cdot \|y_1 - f_1(x, u, w)\| + \alpha_2 \cdot \|y_2 - f_2(x, u, w)\| + \dots + \alpha_k \cdot \|y_k - f_k(x, u, w)\|$$

где

$$y_i \in \mathbb{R}^{p_i} := \text{вектор оптимизируемых переменных}$$

$$u \cdot$$

$$\alpha_i \in \mathbb{R}^{p_i} := \text{вектор весов}$$

$$\sum_i^k \alpha_i = 1.$$

**[00041]** Видно, что в способе оптимизации указанное выше выражение минимизируют с использованием также вектора весов  $\alpha_i$  для каждого суммируемого слагаемого  $\|y_i - f_i(x, u, w)\|$ .

**[00042]** Обычно оптимизирующие переменные  $y_i$  имеют одинаковую размерность, таким образом, они в принципе должны быть измерены в одной и той же метрической системе единиц. Например, в некоторых вариантах осуществления оптимизирующие переменные  $y_i$  могут представлять собой капитальные затраты на установку, так что их можно измерить в \$. В других вариантах осуществления переменные оптимизации  $y_i$  могут представлять собой энергопотребление установки, в этом случае, переменные должны измеряться в МВт. В качестве примера, можно указать, что если алгоритм направлен на минимизацию общих затрат на реализацию установки, то каждый из параметров  $y_i$  будет представлять собой эксплуатационные расходы установки, такие как стоимость топлива, технического обслуживания, затраты на штрафы в случае избыточных выбросов и т. д. В качестве другого примера, возможная оптимизирующая переменная  $y_i$  из набора может представлять собой соотношение крутящий момент/скорость электродвигателя/генератора 32, которые представляют собой известные параметры для любой электрической машины.

**[00043]** Как упоминалось, каждая из управляющих функций  $f_i(x, u, w)$  выражает взаимосвязь между каждым из параметров  $y_i$  и переменными состояния  $x$ , управляющими переменными  $u$  и внешними параметрами  $w$ . Например, стоимость топлива, например, выраженная в \$, будет зависеть от выбранного типа эксплуатации (использование электродвигателя/генератора 32 в режиме стартера/источника вспомогательной мощности, в режиме генерации и т. д.), мощности, генерируемой электродвигателем/генератором 32, текущей стоимости топлива и потребления

топлива газовой турбиной 31 в зависимости от температуры и влажности окружающей среды. Очевидно, что стоимость топлива, хотя и выражается в валюте, а именно в \$, так же как, предпочтительно, все остальные параметры оптимизирующих переменных  $y_i$ , представляет собой функцию некоторых других параметров и переменных, как технических (обязательно), так и не технических.

**[00044]** В конце процесса оптимизации модель дает возможность определить наиболее подходящий набор значений для управляющих переменных  $u$ , которые обычно включают технические переменные, для приведения в действие в конце процесса модуля 311 контроллера управления подачей топлива и контроллера 321 электродвигателя/генератора, получающих требуемую оптимизированную регулировку.

**[00045]** Как было указано, управляющие функции  $f_i(x, u, w)$  как правило, представляют собой нелинейные функции и могут изменяться, например, от одной газовой турбины к другой газовой турбине, а также от одного электродвигателя/генератора к другому электродвигателю/генератору. Для связки с одним из приведенных выше примеров, затраты на используемое топливо представляют собой функцию мощности, генерируемой газовой турбиной 31 гибридной газовой турбины 3, которая является специфической функцией устройства.

**[00046]** Управляющие функции  $f_i(x, u, w)$  также могут включать комбинации функций Хевисайда, выраженные ниже в общем виде

$$\Theta(\zeta) = \begin{cases} 0, & \zeta < 0 \\ 1, & \zeta \geq 0 \end{cases}$$

для выражения возможных пороговых значений, а именно, ограничений (или пределов) модели. Например, может потребоваться оптимизация одной оптимизирующей переменной  $y$  (следовательно,  $i=1$ ), которая может представлять собой потребление топлива, заданием максимального порогового значения  $F_{max}$ . В этом случае, функция, выражающая  $y$  в зависимости от переменных состояния  $x$ , внешних переменных  $u$  и внешних параметров  $w$

$$y=f(x,u,w)$$

будет иметь вид

$$y = f(x, u, w) \cdot (1 - \Theta(F_{Max})).$$

**[00047]** Весовые коэффициенты  $\alpha_i$  используют для задания относительных весов для различных оптимизирующих переменных  $y_i$ . Таким образом, алгоритм, лежащий в основе способа мониторинга и контроля, может быть гибким. В случае, когда один или более весовых коэффициентов  $\alpha_i$  задан равным нулю, соответствующая оптимизирующая переменная  $y_i$  должна быть исключена из процесса оптимизации. Это также дает возможность упростить алгоритм, адаптируя его к подмножеству переменных, полученных или доступных, или даже адаптировать этот алгоритм, и, следовательно, способ мониторинга и управления, к другой гибридной газотурбинной системе 3, которая может иметь другой вариант конфигурации.

**[00048]** Кроме того, когда учитываются все оптимизирующие переменные  $y_i$ , может осуществляться нормализация

$$\sum_i^k \alpha_i = 1$$

Разумеется, указанная выше нормализация может изменяться в зависимости от модели и оптимизирующих переменных  $y_i$ .

**[00049]** Кроме того, на практике подмножества весовых коэффициентов  $\alpha_i$  задают или выбирают предварительно, чтобы задействовать способ 5 оптимизации мониторинга и управления гибридной газотурбинной системой в соответствии с конкретными схемами для достижения определенных результатов, таких как максимизация мощности, которая должна генерироваться, максимизация срока службы газовой турбины 31, минимизация выбросов и т. д.

**[00050]** После достижения оптимизации и минимизации следующего выражения

$$\min_u \alpha_1 \cdot \|y_1 - f_1(x, u, w)\| + \dots + \alpha_k \cdot \|y_k - f_k(x, u, w)\|$$

получают значения переменных состояния  $x$ , управляющих переменных  $u$  и внешних параметров  $w$ , и логический блок 2 управления может посылать один или более управляющих сигналов модулю 311 контроллера управления подачей топлива и контроллеру 321 электродвигателя/генератора для управления их работой, а также может выбирать настройку гибридной газотурбинной системы 3, в частности, потребление топлива газовой турбиной 31 и мощность, генерируемую электродвигателем/генератором 32 при работе в качестве двигателя, когда мощность, поставляемая электродвигателем/генератором 32, является вспомогательной для газовой турбины 31, или при работе в качестве генератора, когда генерируемая мощность поставляется, например, в электрическую сеть (не показана на фигурах).

**[00051]** Принцип работы способа мониторинга и управления, а также газотурбинной системы 1 является следующим.

**[00052]** Как указано выше, после того как логический блок 2 управления получает данные из нескольких источников 4, с которыми он связан, данные (или переменные) группируют в подмножества. В частности, для простоты описания их группируют в три набора или вектора, указанные выше, а именно переменные состояния  $x$ , управляющие переменные  $u$  и внешние переменные  $w$ , которые затем обрабатываются процессором 21. Очевидно, что разделение переменных в соответствии с вышеуказанными тремя наборами или векторами является только формальным, и может быть составлена другая группировка (или группировка может вовсе отсутствовать). В частности, в варианте осуществления, показанном на Фиг. 4, процессор 21 обращается к компьютерной программе для обработки, сохраненной в машиночитаемой памяти 24, для обработки принятых данных. Затем данные обрабатываются на основе алгоритма оптимизации, вариант осуществления которого описан выше, для нахождения параметров, оптимизирующих управление газовой турбиной 31 и электродвигателем/генератором 32.

**[00053]** Разумеется, алгоритм оптимизации и затем способ управления гибридной газотурбинной системой 3 должен также адаптироваться в зависимости от режима эксплуатации, в котором должна работать гибридная газотурбинная система 3 в

конкретных условиях, а также в зависимости от варианта конфигурации линейной системы, в которую включена подлежащая управлению гибридная газовая турбина 3. Для лучшего объяснения этих моментов, обратимся к фиг. 5, на которой представлен вариант осуществления гибридной газовой турбины 3, содержащей электродвигатель 32 с приводом с регулируемой частотой вращения (электродвигатель VFD) в качестве электродвигателя/генератора и газовую турбину 31, подключенную после электродвигателя 32 VFD. Нагрузка L соединена с газовой турбиной 31. Электродвигатель 32 VFD способен генерировать электроэнергию 1–3 МВт. Предполагается, что могут использоваться разные типы электродвигателя 32 VFD, которые способны генерировать разные мощности. Электродвигатель 32 VFD обычно применяют в полевых условиях, поскольку он оказался особенно простым для электрического управления и контроля. Газовая турбина 31 выполнена с возможностью генерирования поставок мощности 30 МВт. Кроме того, в этом случае газовая турбина 31 является типовой, и можно использовать другой тип газовых турбин 31.

**[00054]** На фиг. 6 и 7 показаны два различных режима работы гибридной газовой турбины 2. Более конкретно, на фиг. 6 электродвигатель 32 VFD работает в режиме стартера/источника вспомогательной мощности, причем электродвигатель 32 VFD поставляет (максимум) 2 МВт газовой турбине 31, чтобы обеспечить поставку нагрузке L общей мощности (максимум) 32 МВт.

**[00055]** Вместо этого, на фиг. 7 газовая турбина 31 эксплуатируется в режиме стартер/генератор, так что газовая турбина 31 подает на нагрузку L (максимум) 28 МВт и на электродвигатель 32 VFD (максимум) 2 МВт. Электродвигатель 32 VFD также может быть соединен с электрической сетью (не показана на фигурах) таким образом, чтобы подавать в нее электроэнергию.

**[00056]** В вышеупомянутом варианте конфигурации доступны оба режима работы. Работой гибридной газотурбинной системы 3 может управлять логический блок 2 управления, выбирающий различные режимы эксплуатации, оптимизирующие работу в зависимости от условий, а именно в зависимости от любого варианта конфигурации гибридной газовой турбины 3.

[00057] В частности, как именно процессор 21 (или средства обработки в целом) обрабатывает различные векторы и переменные каждого из них, частично зависит от требований нагрузки L и ограничений, принятых для максимизации некоторых из оптимизирующих переменных  $u_i$  для максимизации либо эксплуатационных характеристик гибридной газотурбинной системы 3, либо стоимости энергии, подлежащей поставке.

[00058] На фиг. 8 показан другой вариант конфигурации линейной системы, в котором нагрузка L соединена с газовой турбиной 31 мощностью 30 МВт через разъединяющее устройство 33, а электродвигатель 32 VFD мощностью 30 МВт также соединен с нагрузкой L.

[00059] В общем случае, разъединяющие устройства 33, установленные в линейных системах, представляют собой муфты сцепления типа муфты с самосинхронизацией или обгонной муфты. Такие муфты оснащены устройствами, известными как устройства блокировки и разблокировки, которые при активации выполняют функцию блокировки муфты в зацепленном или расцепленном положении.

[00060] На фиг. 9 показана работа гибридной газовой турбины 3 в режиме источника вспомогательной мощности, когда и газовая турбина 31, и электродвигатель 32 VFD генерируют максимальную мощность для подачи на нагрузку L, которая в этом случае составляет (максимум) 60 МВт (а именно, сумму максимальной мощности, например, генерируемой газовой турбиной 31 и электродвигателем 32 VFD); или в полностью электрическом режиме, когда газовая турбина 31 отключена, а электродвигатель 32 VFD подает на нагрузку L мощность (максимум) 30 МВт. В этом случае разъединительное устройство 33 разъединено.

[00061] На фиг. 10 показана гибридная газотурбинная система 3, работающая в режиме генерации, в которой газовая турбина 31 способна генерировать, например, (максимум) 30 МВт электроэнергии, часть которой (например, 50% максимальной мощности, генерируемой газовой турбиной 31, а именно 15 МВт) потребляется нагрузкой L, а остальные 50% генерируемой мощности всегда составляющие 15 МВт, потребляются электродвигателем 32 VFD и, таким образом, поставляются в электрическую сеть (не показана), с которой соединен электродвигатель 32 VFD.

[00062] Следует понимать, что соответствующая регулировка мощности, генерируемой газовой турбиной 31 или потребляемой электродвигателем 32 VFD и/или потребляемой нагрузкой L (насос, компрессор или т. п.) и электродвигателем 32 VFD, в другом режиме эксплуатации представляет собой объект должной оптимизации в зависимости от нескольких переменных или групп данных 41, 42 и 43, кратко перечисленных выше.

[00063] Кроме того, способ мониторинга и управления на основе описанного выше алгоритма является гибким, поскольку он может быть адаптирован к различным вариантам конфигурации. В качестве примера, обратимся к переменным состояния  $x$ , среди которых переменная состояния «обратная связь сцепления» не используется в гибридной газотурбинной системе 3, показанной на фиг. 5, хотя она используется в варианте конфигурации гибридной газотурбинной системы 3, изображенной на фиг. 8, или в варианте конфигурации с двумя муфтами сцепления. Таким образом, с помощью правильного выбора функций управления  $f_i(x, u, w)$ , путем задания подходящих значений весовых коэффициентов  $\alpha_i$ , можно реализовать любой возможный вариант конфигурации гибридной газотурбинной системы 3.

[00064] Как указано, в дополнение к вариантам конфигурации, показанным на фиг. 5, 6, 7, 8, 9 и 10, могут быть предусмотрены другие варианты конфигурации. Более конкретно, другие варианты осуществления могут включать гибридную газовую турбинную систему 3, аналогичную показанной на фиг. 8, в которой между нагрузкой L и электродвигателем/генератором 32 помещена дополнительная муфта сцепления. В частности, возможный вариант конфигурации должен включать газовую турбину, электродвигатель/генератор 32, между которыми вставлена первая муфта сцепления, нагрузку и вторую муфту сцепления, вставленную между электродвигателем/генератором 32 и нагрузкой L.

[00065] Раскрытый в данном документе способ 5 мониторинга и управления можно также оценить при рассмотрении блок-схемы, представленной на фиг. 11, на которой показаны следующие этапы:

- получение 51 рабочих переменных  $x$  для определения рабочих состояний газовой турбины 31 и электродвигателя/генератора 32;
- получение 52 управляющих переменных  $u$  для управления рабочими состояниями газовой турбины 31 и электродвигателя/генератора 32;
- получение 53 набора внешних переменных  $w$ ;
- получение 54 набора оптимизирующих переменных  $y$ . Значения оптимизирующих переменных  $y$  зависят от рабочих переменных  $x$ , управляющих переменных  $u$  и внешних переменных  $w$ . Кроме того, значения оптимизирующих переменных  $y$  необходимо скорректировать для их оптимизации;
- обработка 55 одной или более рабочих переменных  $x$ , управляющих переменных  $u$  и внешних переменных  $w$  путем оптимизации значений оптимизирующих переменных  $y$ ; и
- генерирование и передача 56 одного или более управляющих сигналов на основе управляющих переменных  $u$ , полученных оптимизацией оптимизирующих переменных  $y$ , для управления подачей топлива в газовую турбину 31 и мощностью, генерируемой или трансформируемой электродвигателем/генератором 32.

[00066] Эти этапы могут быть выполнены в любом подходящем порядке или комбинации, если в данном документе явно не указано иное.

[00067] Электродвигатель/генератор 32 может быть соединен с установкой 431 сетевого накопления энергии, энергоустановкой 432 с солнечной панелью, ветряной энергетической установкой 433, гидротермальной энергетической установкой 434 или тепловой энергетической установкой 435, или с любой общей электрической сетью, в которую он способен поставлять любую избыточную энергию.

[00068] Кроме того, установка 431 сетевого накопления энергии, энергоустановка 432 с солнечной панелью, ветряная энергоустановка 433, гидротермальная энергоустановка 434 или тепловая энергоустановка 435 могут быть функционально

соединены с логическим блоком 2 управления, который может получать от них данные, такие как часть внешних переменных *w*.

[00069] На фиг. 12 показано, в частности, как логический блок 2 управления и, в частности, модуль 25 приема-передачи передает (этап 57) управляющие сигналы, полученные процессором 21, в модуль 311 контроллера управления подачей топлива газовой турбины 31 и передает (этап 58) управляющие сигналы контроллеру 321 электродвигателя/генератора 32.

[00070] Хотя изобретение описано с точки зрения различных конкретных вариантов осуществления, специалистам в данной области будет очевидно, что возможны многие модификации, изменения и исключения без отступления от сущности и объема формулы изобретения. Кроме того, если не указано иное, порядок или последовательность любых этапов процесса или способа можно варьировать или переупорядочивать в соответствии с альтернативными вариантами осуществления.

[00071] Ниже будет дана подробная ссылка на варианты осуществления настоящего изобретения, причем один или более примеров проиллюстрированы на чертежах. Каждый из примеров приводится для пояснения описания, а не ограничения описания. В сущности, специалистам в данной области должно быть очевидно, что в рамках настоящего описания можно создавать различные модификации и вариации без отступления от объема или сущности описания. Ссылка в данном описании на «один вариант осуществления», или «вариант осуществления», или «некоторые варианты осуществления» означает, что конкретный признак, структура или характеристика, описанные в связи с вариантом осуществления, включены в по меньшей мере один вариант осуществления описанного объекта изобретения. Таким образом, появление фразы «в одном варианте осуществления», «в варианте осуществления» или «в некоторых вариантах осуществления» в различных местах во всем данном описании не обязательно относится к одному (-им) и тому (тем) же варианту (-ам) осуществления изобретения. Конкретные признаки, структуры или характеристики можно дополнительно комбинировать любым приемлемым способом в одном или более вариантах осуществления.

[00072] При представлении элементов различных вариантов осуществления формы единственного числа и слово «указанный» обозначают существование одного или более элементов. Термины «содержащий», «включающий» и «имеющий» предназначены для указания включения и означают, что помимо перечисленных элементов могут существовать дополнительные элементы.

Barzanò & Zanardo Roma S.p.A.

**ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

1. Способ (5) мониторинга и управления гибридной газотурбинной системой (3), причем гибридная газотурбинная система (3) содержит по меньшей мере одну газовую турбину (31), предназначенную для работы на топливе, по меньшей мере один электродвигатель/генератор (32), способный функционировать в качестве генератора или в качестве двигателя, и множество исполнительных механизмов для управления ими, и при этом способ (5) реализован с помощью логического блока (2) управления, что приводит к тому, что способ (5) включает следующие этапы:

    получение (51) набора рабочих переменных  $x$  для определения рабочих состояний газовой турбины (31) и электродвигателя/генератора (32);

    получение (53) набора внешних переменных  $w$ ;

    выбор (52) набора управляющих переменных  $u$  для управления рабочими состояниями газовой турбины (31) и электродвигателя/генератора (32);

    задание (54) набора оптимизирующих переменных  $y$ ;

    причем значения оптимизирующих переменных  $y$  зависят от рабочих переменных  $x$ , управляющих переменных  $u$  и внешних переменных  $w$ , и

    при этом значения оптимизирующих переменных  $y$  необходимо подгонять для их оптимизации;

    обработка (55) одной или более рабочих переменных  $x$ , управляющих переменных  $u$  и внешних переменных  $w$  путем оптимизации значений оптимизирующих переменных  $y$ ; и

    генерирование и передача (56) одного или более управляющих сигналов на основе управляющих переменных  $u$ , полученных оптимизацией оптимизирующих переменных  $y$ , для управления исполнительными механизмами гибридной газотурбинной системы (3).

2. Способ (5) по п. 1, в котором один или более управляющих сигналов дают возможность управлять подачей топлива в газовую турбину (31) и мощностью, генерируемой или трансформируемой электродвигателем/генератором (32).

3. Способ (5) по любому из предшествующих пунктов, в котором указанные оптимизирующие переменные  $y_i$  представляют собой подмножество рабочих переменных  $x$  и/или управляющих переменных  $u$ , и/или внешних переменных  $w$ .

4. Способ по любому из предшествующих пунктов,

в котором оптимизирующие переменные  $y_i$  связаны с рабочими переменными  $x$  и/или управляющими переменными  $u$ , и/или внешними переменными  $w$  через управляющие функции  $f_i(x, u, vw)$ , и

при этом этап (55) оптимизации выполняется минимизацией суммы модуля оптимизирующих переменных  $y_i$  и управляющих функций  $f_i(x, u, vw)$ , в соответствии со следующим уравнением:

$$\min_u \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot \|y_i - f_i(x, u, w)\|$$
$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1$$

где  $\alpha_i$  представляют собой весовые коэффициенты.

5. Способ (5) по п. 4, включающий этап выбора подмножеств весовых коэффициентов  $\alpha_i$ , для обработки одной или более рабочих переменных  $x$ , управляющих переменных  $u$  и внешних переменных  $w$  путем оптимизации значений оптимизирующих переменных  $y$  в соответствии с конкретными схемами для достижения определенных результатов, таких как максимизация мощности, которая должна генерироваться, максимизация срока службы газовой турбины 31, минимизация выбросов и т. п.

6. Способ (5) по любому из предшествующих пунктов, в котором переменные состояния  $x$  включают по меньшей мере одну из следующих переменных: давление окружающей среды, влажность окружающей среды, температура на входе в турбину, давление на входе в турбину, температура выхлопа турбинного компрессора, выпускное давление турбинного компрессора, воздушный поток

турбинного компрессора, потери на впускном фильтре, температура топлива, состав топлива, режим горения, частота вращения ротора турбины большой мощности, температура первого сопла, температура выхлопа турбины большой мощности, поток через турбину большой мощности, повышение частоты вращения ротора турбины, повышение температуры выхлопа турбины, повышение потока через турбину, частота вращения ротора турбины малой мощности, температура выхлопа турбины малой мощности, поток через турбину малой мощности, давление на входе в компрессор, работающий от привода, температура на входе в компрессор, работающий от привода, поток на входе в компрессор, работающий от привода, температура на выходе из компрессора, работающего от привода, давление на выходе из компрессора, работающего от привода, мощность электродвигателя, выбросы, срок службы, сцепление, обратная связь.

7. Способ (5) по любому из предшествующих пунктов, в котором управляющие переменные *u* для генерирования управляющих сигналов содержат по меньшей мере одну из следующих переменных: команда для топлива, команда для впускных направляющих заслонок, команда для поворотных лопаток статора, команда для регулируемых заслонок перепуска воздуха, команда для перепускного клапана, команда для дренажных перепускных заслонок, команда для включения осевого противопомпажного клапана, команда для направляющих заслонок соплового аппарата, команда для включения противопомпажного клапана центробежного компрессора, команда для впускных заслонок компрессора, заданная уставка для двигателя, заданная уставка для реактивной мощности.

8. Способ (5) по любому из предшествующих пунктов, в котором внешние переменные *w* включают по меньшей мере одну из следующих переменных: стоимость топлива, продажная цена электроэнергии, стоимость электроэнергии, налог на выброс загрязняющих веществ в атмосферу, затраты на техническое обслуживание, доступность дополнительной энергии, затраты/цена реактивной мощности, коэффициент мощности.

9. Логический блок 2 управления, содержащий:

процессор (21), выполненный с возможностью осуществления способа по любому из пп. 1–8; и

модуль (25) приема-передачи, выполненный с возможностью подключения к процессору (21), выполненный с возможностью передачи (57) управляющих сигналов, полученных процессором (21), для управления исполнительными механизмами гибридной газотурбинной системы (3).

10. Логический блок (2) управления по п. 9, содержащий:  
шину (22), которая соединена с процессором (21);  
базу (23) данных, соединенную с шиной (22) таким образом, чтобы процессору (21) был обеспечен доступ к ней и управление, и  
машиночитаемую память (24), соединенную с шиной (22) таким образом, чтобы процессору (21) был обеспечен доступ к ней и управление.

11. Гибридная газотурбинная система (3), содержащая:  
по меньшей мере одну газовую турбину (31), предназначенную для работы на топливе, содержащую модуль (311) контроллера управления подачей топлива, выполненный с возможностью управления подачей топлива в газовую турбину (3);  
и

по меньшей мере один электродвигатель/генератор (32), выполненный с возможностью работы в качестве генератора или в качестве двигателя, содержащий контроллер (321) электродвигателя/генератора, приспособленный к управлению и регулированию электрической мощности, генерируемой или трансформируемой электродвигателем/генератором (32);

что приводит к тому, что гибридная газотурбинная система (3) содержит логический блок (2) управления по любому из пп. 9 или 10, функционально соединенный с модулем (311) контроллера управления подачей топлива и контроллером электродвигателя/генератора (321).

12. Гибридная газотурбинная система (3) по п. 11, в которой модуль (25) приема-передачи логического блока (2) управления выполнен с возможностью передачи (57) управляющих сигналов, полученных процессором (21), модулю (311)

контроллера управления подачей топлива газовой турбины (31) и передачи (58) контроллеру (321) электродвигателя/генератора (32).

13. Гибридная газотурбинная система (3) по любому из пп. 11 или 12, в которой электродвигатель/генератор (32) соединен по меньшей мере с одной генерирующей установкой (41, 42, 43, 44, 45).

14. Гибридная газотурбинная система (3) по п. 13, в которой энергогенерирующие установки включают сетевое накопление энергии (431) энергоустановку (432) с солнечной панелью, ветряную энергоустановку (433), гидротермальную энергоустановку (434) и/или тепловую энергоустановку (435).

15. Гибридная газотурбинная система (3) по любому из пп. 11–14, в которой газовая турбина (31) соединена с нагрузкой (L), такой как насос или компрессор.

16. Гибридная газотурбинная система (3) по п. 15, в которой газовая турбина (31) соединена с нагрузкой (L) через разъединительное устройство (33), такое как самосинхронизирующаяся муфта сцепления или обгонная муфта.

17. Гибридная газотурбинная система (3) по п. 16, в которой разъединением или соединением, выполняемым разъединительным устройством, управляет вручную оператор и/или автоматически управляет исполнительный механизм.

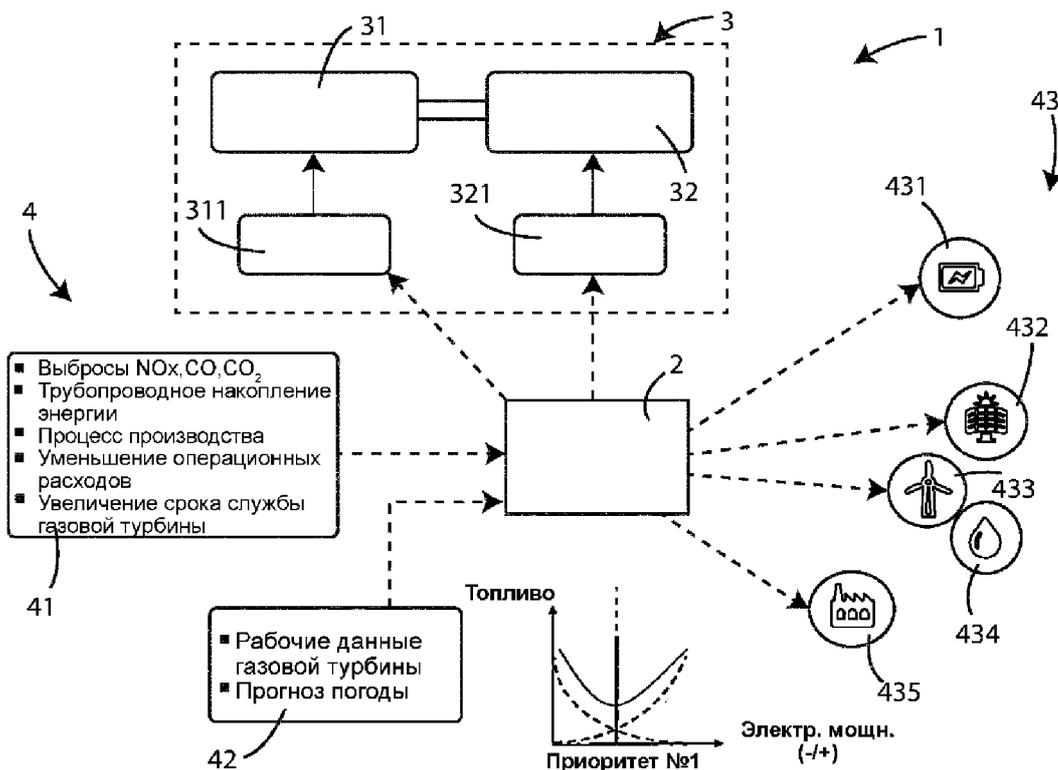
18. Гибридная газотурбинная система (3) по пп. 11–17, в которой электродвигатель/генератор (32) представляет собой электродвигатель с приводом с регулируемой частотой вращения (электродвигатель VFD).

19. Гибридная газотурбинная система (3) по любому из пп. 11–18, в которой газовая турбина (2) представляет собой газовую турбину большой мощности или газовую турбину на базе авиационного двигателя.

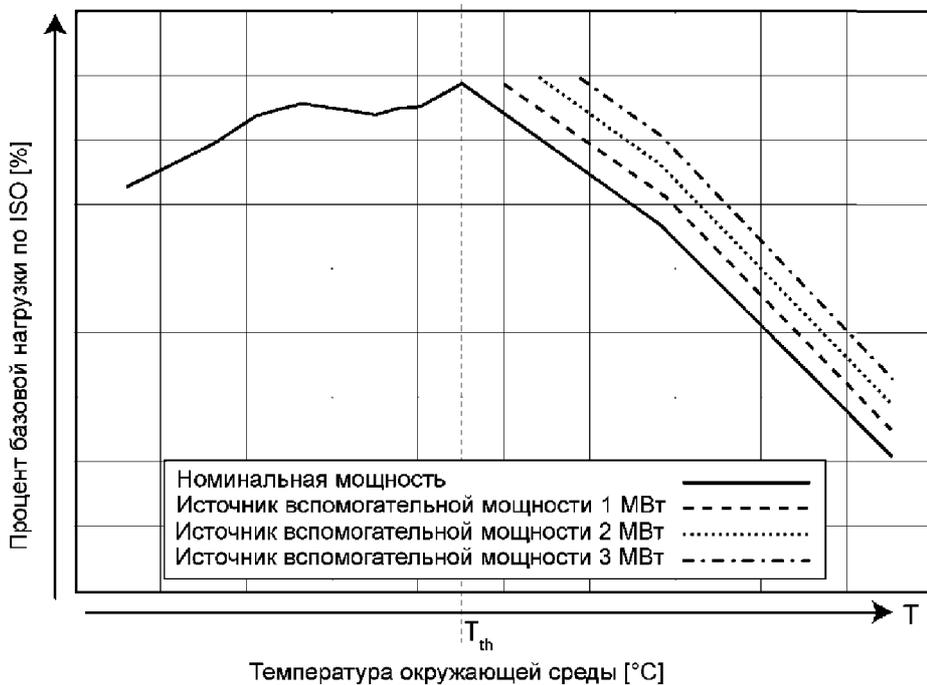
20. Способ (5) по любому из пп. 11–19, в котором газовая турбина (2)

представляет собой газовую турбину большой мощности или газовую турбину на базе авиационного двигателя.

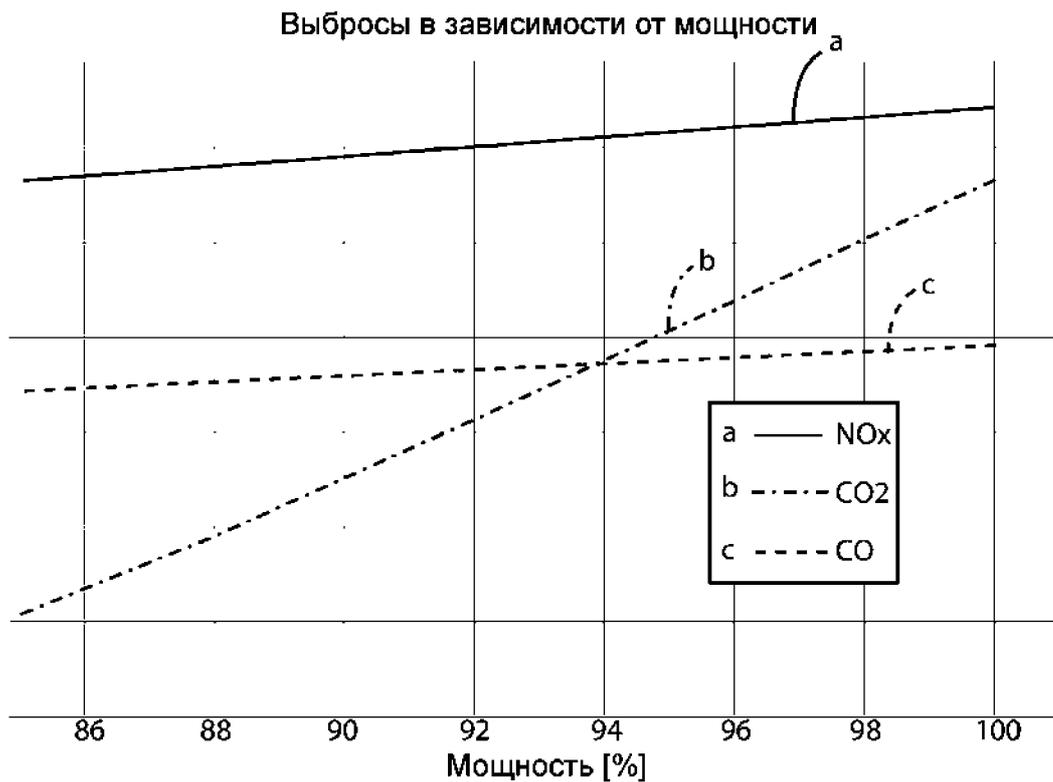
Barzanò & Zanardo Roma S.p.A.



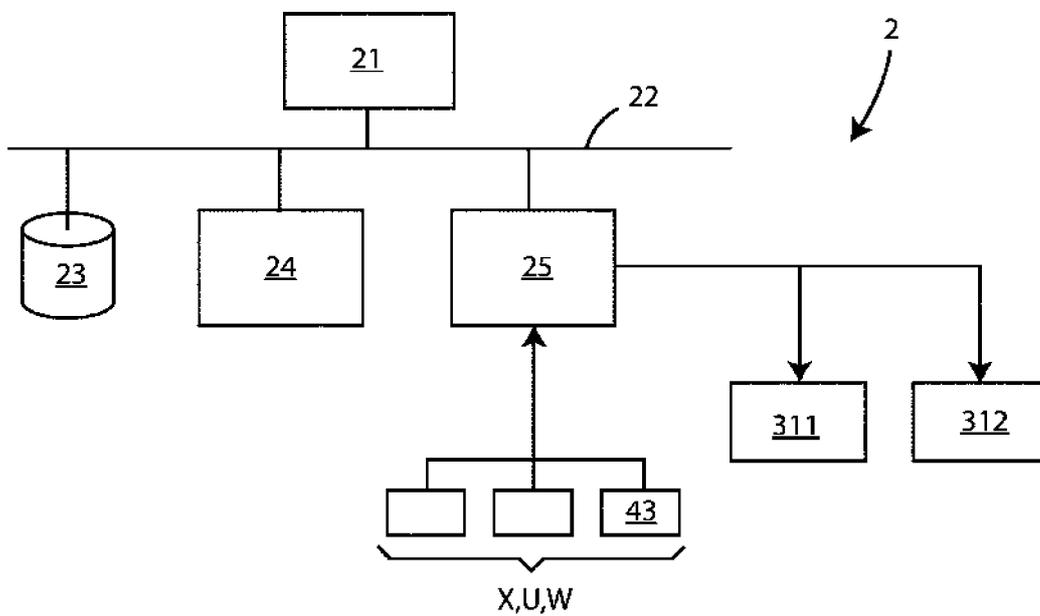
ФИГ. 1



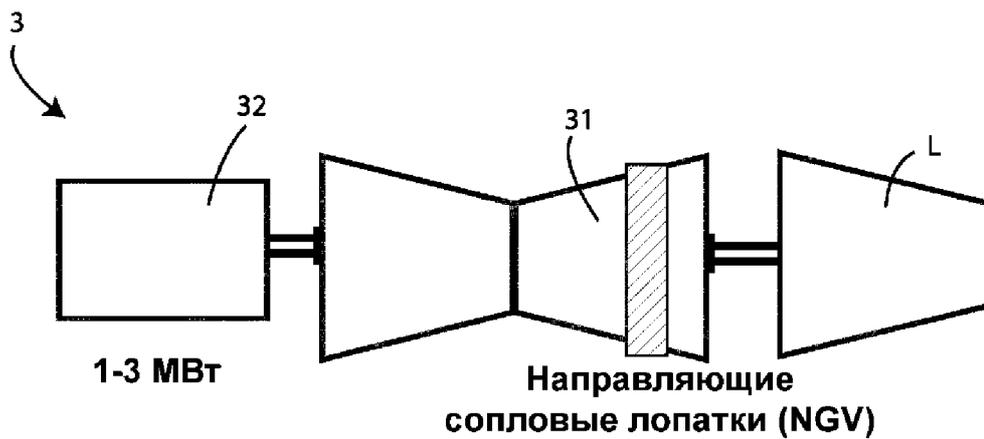
ФИГ. 2



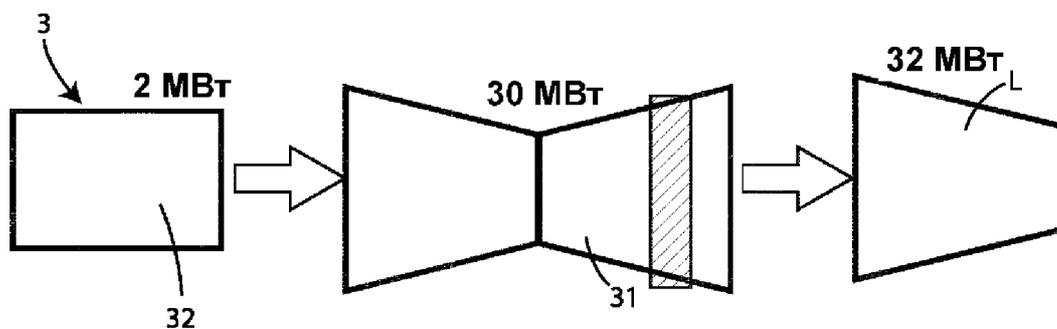
ФИГ. 3



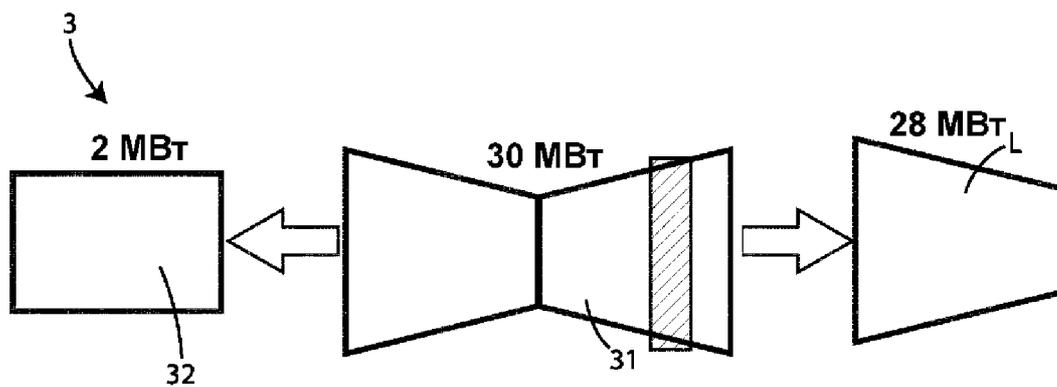
ФИГ. 4



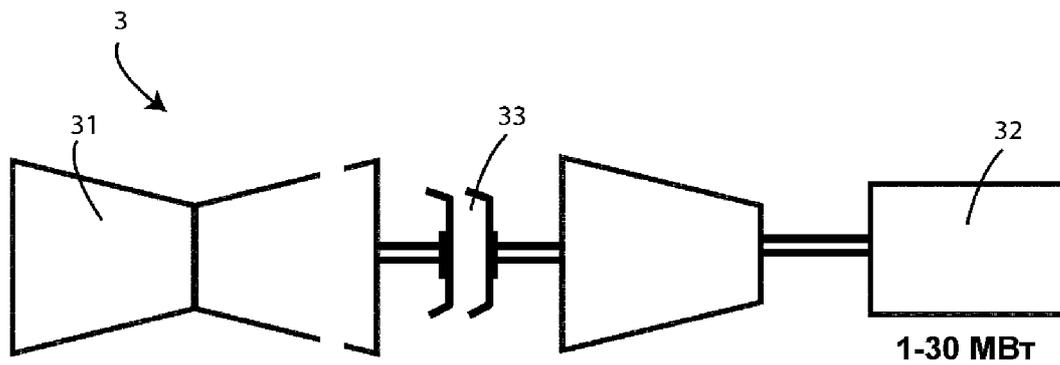
ФИГ. 5



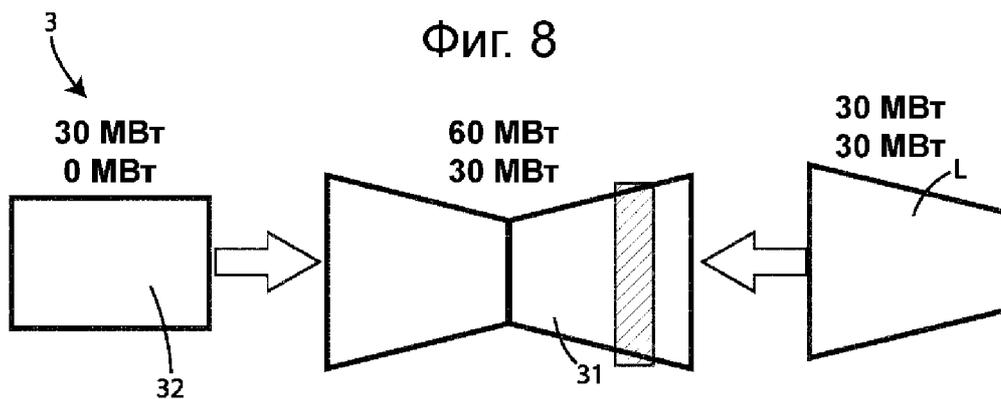
ФИГ. 6



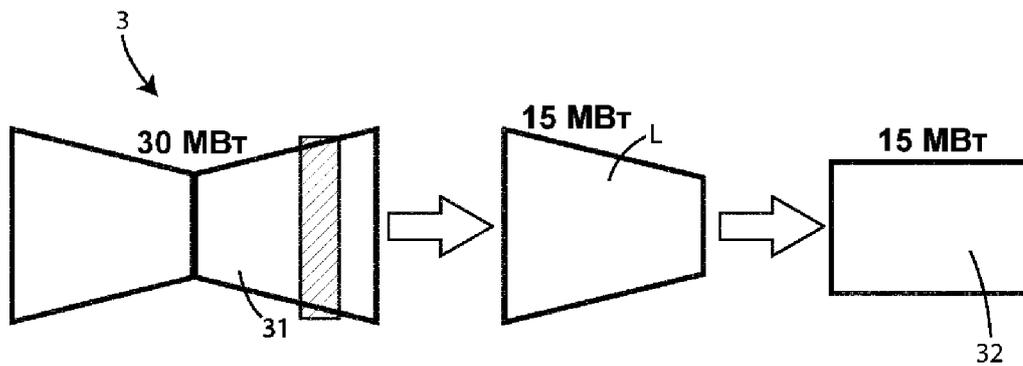
ФИГ. 7



ФИГ. 8



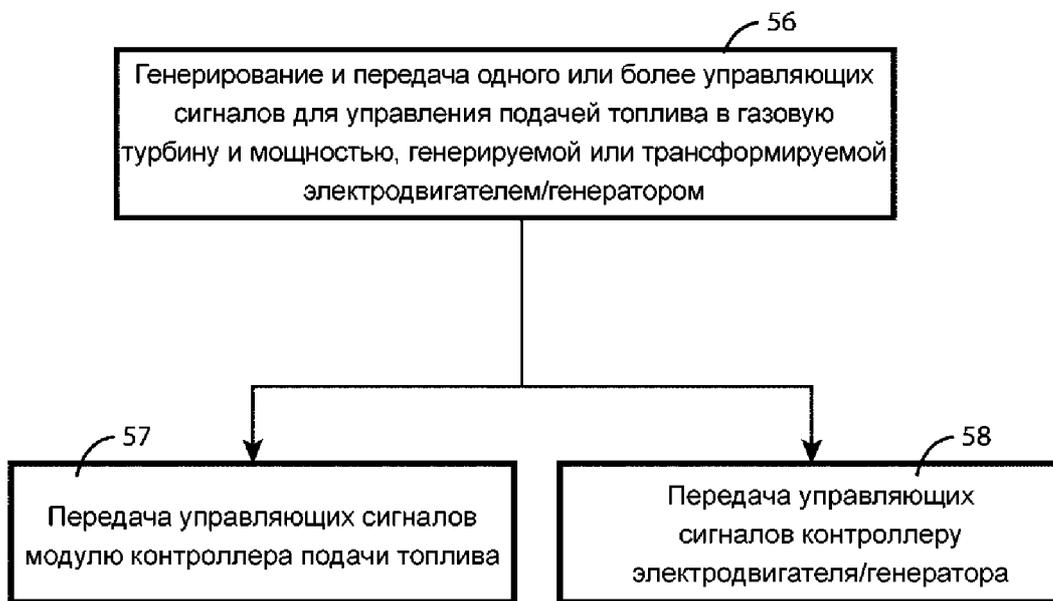
ФИГ. 9



ФИГ. 10



Фиг. 11



Фиг. 12