


 ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010126000/07, 18.11.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.11.2008

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
14.12.2007 DE 102007060428.0
14.12.2007 US 61/013,670

(43) Дата публикации заявки: 20.01.2012 Бюл. № 2

(45) Опубликовано: 20.11.2012 Бюл. № 32

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: WO 2005/112156 A2, 24.11.2005. US 3964930
A, 22.06.1976. JP 2001349681 A, 21.12.2001. US
2005/0022550 A1, 03.02.2005. RU 2299500 C2,
20.05.2007.(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 14.07.2010(86) Заявка РСТ:
EP 2008/009735 (18.11.2008)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2009/077048 (25.06.2009)

Адрес для переписки:

191186, Санкт-Петербург, а/я 230, "АРС-
ПАТЕНТ", пат.пов. М.В.Хмаре, рег. № 771

(72) Автор(ы):

ШАЙБЕРТ Тобиас (DE)

(73) Патентообладатель(и):

ЭЙРБАС ОПЕРЭЙШНЗ ГМБХ (DE)

(54) СИСТЕМА ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА С ИСПАРИТЕЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ И
СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТАКОЙ СИСТЕМЫ

(57) Реферат:

Изобретение относится к топливным элементам (ТЭ) с испарительным охлаждением. Техническим результатом изобретения является создание системы охлаждения, пригодной для воздушного судна. Согласно изобретению система ТЭ содержит ТЭ и систему испарительного охлаждения, которая находится в тепловом контакте с ТЭ для того, чтобы обеспечить поглощение теплоты, которую выделяет в процессе работы ТЭ, путем испарения хладагента и отвод указанной

теплоты от ТЭ. Система ТЭ содержит также устройство для измерения давления в системе испарительного охлаждения. Блок управления выполнен с возможностью регулирования рабочей температуры ТЭ в зависимости от сигналов, поступающих на блок управления от устройства для измерения давления в системе испарительного охлаждения, таким образом, чтобы обеспечить переход хладагента системы испарительного охлаждения из жидкого в газообразное агрегатное состояние под действием теплоты, которую выделяет в

RU 2 4 6 7 4 3 5 C 2

RU 2 4 6 7 4 3 5 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2010126000/07, 18.11.2008**

(24) Effective date for property rights:
18.11.2008

Priority:

(30) Convention priority:
14.12.2007 DE 102007060428.0
14.12.2007 US 61/013,670

(43) Application published: **20.01.2012 Bull. 2**

(45) Date of publication: **20.11.2012 Bull. 32**

(85) Commencement of national phase: **14.07.2010**

(86) PCT application:
EP 2008/009735 (18.11.2008)

(87) PCT publication:
WO 2009/077048 (25.06.2009)

Mail address:

**191186, Sankt-Peterburg, a/ja 230, "ARS-
PATENT", pat.pov. M.V.Khmare, reg. № 771**

(72) Inventor(s):

ShAJBERT Tobias (DE)

(73) Proprietor(s):

EhJRBAS OPERehJShNZ GMBKh (DE)

(54) FUEL ELEMENT SYSTEM WITH EVAPORATION COOLING, AND OPERATING METHOD OF SUCH SYSTEM

(57) Abstract:

FIELD: heating.

SUBSTANCE: invention refers to fuel elements with evaporation cooling. According to the invention, fuel element system includes fuel element and evaporation cooling system that is in heat contact with fuel element to provide absorption of the heat released with the fuel element during operation by evaporating the cooling agent and removal of the above heat from fuel element. Fuel element system also includes device for pressure measurement in evaporation cooling system. Control unit is provided

with possibility of controlling the working temperature of fuel element depending on the signals supplied to the control unit from pressure measurement device in evaporation cooling system so that transition of cooling agent of evaporation cooling system from liquid to gaseous condition can be provided under influence of the heat released during operation of fuel element.

EFFECT: creation of cooling system suitable for an airborne vehicle.

22 cl, 3 dwg, 1 tbl

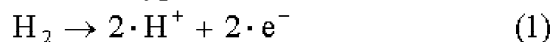
Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к системе топливного элемента с испарительным охлаждением и к способу эксплуатации такой системы.

Уровень техники

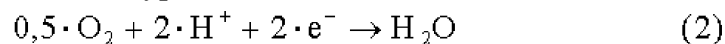
Системы топливных элементов позволяют получать электрическую энергию при низком уровне выбросов и с высоким коэффициентом полезного действия. Поэтому в настоящее время имеются тенденции применять системы топливных элементов в различных транспортных устройствах, например в автомобильной технике, судоходстве или в авиации, для получения электрической энергии. Так, например, представляется возможным заменить в воздушном судне генераторы, которые в настоящее время используются для бортового электропитания и имеют привод от основных двигателей или вспомогательных турбин, на систему топливного элемента. Кроме того, систему топливного элемента можно использовать также для аварийного электропитания воздушного судна и заменить турбину с приводом от набегающего воздуха (Ram Air Turbine, RAT), применяемую в настоящее время для этих целей.

Топливные элементы обычно содержат катодную область и анодную область, которая отделена электролитом от катодной области. В процессе работы топливного элемента на анодную сторону топливного элемента подают топливо, например водород, а на катодную сторону топливного элемента подают кислородсодержащий окислитель, например воздух. В случае топливного элемента с мембраной из полимерного электролита (Polymer electrolyte membrane, PEM) молекулы водорода реагируют с анодным катализатором, присутствующим в анодной области, например, согласно уравнению (1):



и при этом отдают на электроде электроны, образуя положительно заряженные водородные ионы.

Затем ионы H^+ , образующиеся в анодной области, диффундируют сквозь электролит к катоду, где они реагируют в присутствии катодного катализатора, содержащегося в катодной области, с кислородом, который подведен к катоду, а также электронами, поступающими к катоду по внешней электрической цепи, согласно уравнению (2):



с образованием воды.

Наряду с электрической энергией топливный элемент в процессе функционирования вырабатывает тепловую энергию, которую необходимо отводить от него при помощи системы охлаждения для того, чтобы исключить перегрев топливного элемента. В случае применения в транспортных устройствах, где обычно лишь часть тепловой энергии, вырабатываемой топливным элементом, может быть использована внутрисистемными или внешними потребителями тепла, часто приходится отводить в окружающую среду по меньшей мере часть теплоты, которая выделяется в топливных элементах в результате реакции. Так, например, топливный элемент, применяемый в воздушном судне для бортового электропитания, должен удовлетворять высокую потребность в электрической энергии. Однако топливный элемент, мощный с точки зрения выработки электрической энергии, вырабатывает также большое количество тепловой энергии и поэтому требует эффективного охлаждения.

В принципе, топливный элемент, используемый на борту воздушного судна, можно охлаждать различными способами. В частности, возможно жидкостное охлаждение,

когда жидкость применяют в качестве хладагента, чтобы отбирать теплоту реакции, вырабатываемую топливным элементом. Хладопроизводительность жидкостной охлаждающей системы приблизительно рассчитывают согласно уравнению (3)

$$\dot{Q}_F = \dot{m}_F \cdot c_{pF} \cdot \Delta T_F \quad (3)$$

где $\dot{Q}_F$ - теплопоглощающая способность охлаждающей жидкости, $\dot{m}_F$ - массовый расход, c_{pF} - теплоемкость охлаждающей жидкости и ΔT_F - разность температур охлаждающей жидкости на выходе и на входе.

Как непосредственно следует из уравнения (3), для эффективного жидкостного охлаждения, при котором охлаждающая жидкость циркулирует в контуре, требуется охладить охлаждающую жидкость, нагретую за счет поглощения тепла от топливного элемента, на ΔT_F перед тем, как она сможет снова эффективно поглощать теплоту, выделяемую топливным элементом. Для охлаждения охлаждающей жидкости на ΔT_F эту охлаждающую жидкость можно, например, направлять в теплообменник, где она будет отдавать накопленную тепловую энергию другому хладагенту, например окружающему воздуху. В качестве альтернативы жидкостному охлаждению топливного элемента с последующим охлаждением охлаждающей жидкости окружающим воздухом возможно также прямое охлаждение топливного элемента окружающим воздухом.

Независимо от того, служит ли система охлаждения окружающим воздухом для прямого охлаждения топливного элемента окружающим воздухом или только для охлаждения охлаждающей жидкости жидкостной охлаждающей системы, хладопроизводительность системы охлаждения окружающим воздухом приблизительно рассчитывают согласно уравнению (4)

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_L \cdot c_{pL} \cdot \Delta T_L \quad (4)$$

где $\dot{Q}_L$ - теплопоглощающая способность охлаждающего воздуха, $\dot{m}_L$ - массовый расход охлаждающего воздуха, c_{pL} - теплоемкость охлаждающего воздуха и ΔT_L - разность между температурой охлаждающего воздуха на выходе и температурой окружающего воздуха.

Из уравнения (4) очевидно, что охлаждающая способность при охлаждении окружающим воздухом тем меньше, чем меньше разность ΔT_L между температурой охлаждающего воздуха на выходе и температурой окружающего воздуха. При охлаждении низкотемпературного топливного элемента с РЕМ, рабочая температура которого обычно составляет примерно от 60°C до 110°C, а при оптимальной мощности - примерно от 60 до 90°C, проблема заключается в том, что разность ΔT_L между температурой охлаждающего воздуха на выходе, максимально соответствующей рабочей температуре топливного элемента, и температурой окружающего воздуха является относительно низкой и соответственно хладопроизводительность системы охлаждения также является низкой. Поэтому для достаточного отвода теплоты от топливного элемента с РЕМ в окружающую среду требуются большие поверхности теплопереноса. В этой связи жидкостные и/или воздушные системы охлаждения для топливного элемента с РЕМ неизбежно имеют большой объем и относительно высокий вес, что является очень невыгодным для применения в транспортных устройствах, в частности в авиации. Кроме того, для охлаждения топливного элемента с РЕМ, используемого на борту воздушного судна, необходимо всасывать холодный воздух из окружающей воздушной среды и после поглощения им теплоты реакции, выделяемой топливным элементом, снова

отводить этот воздух в окружающую воздушное судно среду. Однако как всасывание воздуха, так и его отвод в окружающую воздушное судно среду вызывают увеличение сопротивления воздуха, нежелательное для эффективной летной эксплуатации воздушного судна.

В отличие от вышеописанных систем охлаждения, холодопроизводительность которых в значительной степени зависит от разности между температурой хладагента и температурой окружающего воздуха, холодопроизводительность системы испарительного охлаждения согласно уравнению (5)

$$\dot{Q}_v = \dot{m}_v \cdot c_{pL} \cdot \Delta h_v \quad (5)$$

определяется энтальпией Δh_v испарения хладагента, применяемого в системе испарительного охлаждения, где $\dot{Q}_v$ представляет собой теплопоглощающую способность хладагента, переходящего из жидкого в газообразное агрегатное состояние, а $\dot{m}_v$ - массовый расход хладагента, переходящего из жидкого в газообразное агрегатное состояние.

Хладагент, который циркулирует в контуре системы испарительного охлаждения, после испарения необходимо снова переводить в жидкое агрегатное состояние посредством конденсации. Однако при этом не требуется охлаждения хладагента до температуры, более низкой, чем рабочая температура топливного элемента, охлаждаемого системой испарительного охлаждения. Кроме того, преимущество системы испарительного охлаждения по сравнению с вышеописанными жидкостными и воздушными системами охлаждения заключается в том, что изменение агрегатного состояния широко применяемых хладагентов, например воды, требует гораздо больше энергии, чем может поглотить хладагент в жидком состоянии. Поэтому система испарительного охлаждения может работать с гораздо меньшим массовым расходом хладагента, чем система воздушного охлаждения со сравнимой холодопроизводительностью.

Система испарительного охлаждения, предназначенная для охлаждения топливного элемента, известна, например, из DE 19935719 A1. В системе охлаждения, описанной в DE 19935719 A1, хладагент, например воду, пропускают по трубам охлаждения, которые расположены в анодной камере подвода газа и в анодной камере отработанного газа батареи топливных элементов. При прохождении по трубам охлаждения хладагент испаряется и поглощает при этом до 90% количества теплоты, которое выделяют топливные элементы путем теплового излучения.

Раскрытие изобретения

Задачей настоящего изобретения является обеспечение системы топливного элемента с испарительным охлаждением, пригодной, в частности, для применения в воздушном судне. Кроме того, задачей настоящего изобретения является обеспечение способа эксплуатации указанной системы топливного элемента с испарительным охлаждением.

Эта задача решена при помощи системы топливного элемента с признаками, указанными в п.1 формулы изобретения, и способа эксплуатации системы топливного элемента с признаками, указанными в п.11 формулы изобретения.

Система топливного элемента согласно изобретению содержит топливный элемент, предпочтительно топливный элемент класса мощности МВт, при этом термин "топливный элемент" относится не только к отдельному элементу, но и к батарее, содержащей несколько топливных элементов. Топливный элемент предпочтительно представляет собой топливный элемент с РЕМ, анодная область которого сообщается

с источником водорода, а в катодную область подают кислородсодержащий окислитель, предпочтительно воздух. Топливо, которое подают в анодную область топливного элемента, предпочтительно водород, может накапливаться в топливном баке, встроенном в систему топливного элемента согласно изобретению.

Альтернативно или дополнительно система топливного элемента согласно изобретению может содержать установку для получения топлива, подаваемого в анодную область топливного элемента. Катодная сторона топливного элемента может быть соединена с напорной стороной компрессора. Компрессор может представлять собой компрессор с комбинированной подачей воздуха и пара.

Топливный элемент может представлять собой низкотемпературный топливный элемент с РЕМ или высокотемпературный топливный элемент с РЕМ, топливный элемент с РЕМ, содержащий композитный электролит с неорганическим материалом, полибензимидазольный топливный элемент с РЕМ или полиперфторсульфонкислотный топливный элемент с РЕМ. В процессе работы топливный элемент наряду с электрической энергией вырабатывает тепловую энергию, которую необходимо отводить от топливного элемента, чтобы исключить его перегрев.

Система топливного элемента согласно изобретению содержит также систему испарительного охлаждения, которая находится в тепловом контакте с топливным элементом, для поглощения теплоты, которую выделяет в процессе работы топливный элемент, путем испарения хладагента и отвода этой теплоты от топливного элемента. Как указано выше, система испарительного охлаждения отличается высокой теплопоглощающей способностью и, следовательно, превосходной хладопроизводительностью, благодаря высокой энтальпии испарения, которая требуется для перевода хладагента из жидкого в газообразное агрегатное состояние. Поэтому система испарительного охлаждения системы топливного элемента согласно изобретению по сравнению с системой воздушного или жидкостного охлаждения с аналогичной теплопоглощающей способностью работает с гораздо меньшим массовым расходом хладагента, а также имеет компактную конструкцию и меньший вес. Кроме того, система испарительного охлаждения имеет небольшие потери энергии, не создает дополнительного сопротивления воздуха при использовании системы топливного элемента согласно изобретению на борту воздушного судна, а также способна обеспечивать надежное и независимое охлаждение топливного элемента даже при его пиковых рабочих нагрузках. И, наконец, система испарительного охлаждения системы топливного элемента согласно изобретению обладает высокой динамичностью, поскольку расширение хладагента при испарении позволяет быстро отводить хладагент из той зоны системы испарительного охлаждения, которая находится в тепловом контакте с топливным элементом.

Система испарительного охлаждения системы топливного элемента согласно изобретению может быть выполнена в виде системы, отдельной от топливного элемента. Однако предпочтительно система испарительного охлаждения является по меньшей мере частично встроенной в компоненты топливного элемента и содержит охлаждающие каналы, например, в биполярных, разделительных пластинах, пластинах кожуха и/или боковых ограничительных пластинах топливного элемента или батареи топливных элементов. Альтернативно или дополнительно охлаждающие каналы системы испарительного охлаждения могут проходить также в анодной камере подвода газа, в катодной камере подвода газа, в анодной камере отработанного газа и/или в катодной камере отработанного газа топливного

элемента. По охлаждающим каналам системы испарительного охлаждения протекает хладагент, который вследствие поглощения теплоты, выделяющейся в процессе работы топливного элемента, переходит из жидкого в газообразное агрегатное состояние. В качестве хладагента можно использовать, например, воду, которая, протекая по охлаждающим каналам системы испарительного охлаждения, испаряется в результате пузырькового кипения.

Система топливного элемента согласно изобретению содержит также устройство для измерения давления в системе испарительного охлаждения, т.е. в тех частях системы испарительного охлаждения, в которых хладагент переходит из жидкого в газообразное агрегатное состояние. Если система испарительного охлаждения, т.е. те части системы испарительного охлаждения, в которых хладагент переходит из жидкого в газообразное агрегатное состояние, сообщаются со средой, окружающей систему испарительного охлаждения, устройство для измерения давления имеет такую конструкцию и расположение, чтобы измерять давление в среде, окружающей систему испарительного охлаждения и/или топливный элемент. В качестве устройства для измерения давления можно использовать, например, датчик давления. Устройство для измерения давления направляет сигналы, соответствующие давлению в системе испарительного охлаждения, на блок управления, выполненный, например, в виде электронного блока управления.

Блок управления системы топливного элемента согласно изобретению выполнен с возможностью регулирования рабочей температуры топливного элемента в зависимости от сигналов, поступающих на блок управления от устройства для измерения давления в системе испарительного охлаждения, таким образом, чтобы обеспечить переход хладагента из жидкого в газообразное агрегатное состояние под действием теплоты, которую выделяет в процессе работы топливный элемент. Иными словами, блок управления выполнен с возможностью регулирования рабочей температуры топливного элемента в зависимости от давления в системе испарительного охлаждения, т.е. в тех частях системы испарительного охлаждения, в которых испаряется хладагент, таким образом, чтобы количество теплоты, выделяющейся в процессе работы топливного элемента, было всегда достаточным для перевода хладагента из жидкого в газообразное агрегатное состояние. Тем самым постоянно обеспечивается надлежащее функционирование системы испарительного охлаждения. В системе топливного элемента согласно изобретению температура хладагента после поглощения теплоты, выделяемой топливным элементом, немного ниже рабочей температуры топливного элемента, таким образом реализуется высокий теплоперенос и, следовательно, особенно хорошая холодопроизводительность системы испарительного охлаждения. Кроме того, по существу, изотермическое изменение агрегатного состояния хладагента обеспечивает стабильную работу системы испарительного охлаждения.

Температура испарения обычных хладагентов, например воды, уменьшается при снижении давления. В частности, температура испарения воды при давлении, соответствующем атмосферному давлению на уровне моря (1,0132 бар) составляет 100°C. При давлении 0,1992 бар, которое имеет место на высоте 12192 м (40000 футов), т.е. на высоте крейсерского полета воздушного судна гражданской авиации, температура испарения воды составляет всего 60°C. Если в системе испарительного охлаждения системы топливного элемента согласно изобретению в качестве хладагента используют воду, то при давлении в системе испарительного охлаждения, соответствующем атмосферному давлению на уровне моря, рабочая температура

топливного элемента должна быть настолько высокой, чтобы обеспечить количество теплоты, выделяющейся в процессе работы топливного элемента, достаточное для нагревания хладагента в системе испарительного охлаждения до температуры более 100°C, и тем самым обеспечить надлежащее функционирование системы испарительного охлаждения. И, напротив, когда давление в системе испарительного охлаждения составляет всего 0,1992 бар, топливный элемент может иметь более низкую рабочую температуру, т.к. теплоты, выделяемой в процессе работы топливного элемента, должно быть достаточно, чтобы нагревать хладагент только до 60°C.

Низкотемпературный топливный элемент с РЕМ достигает оптимальной мощности при рабочей температуре примерно от 60 до 90°C. Если система топливного элемента согласно изобретению при помощи устройства для измерения давления установит, что давление в системе испарительного охлаждения является достаточно низким, например, вследствие того, что давление окружающей среды ниже, чем атмосферное давление на уровне моря, блок управления может снизить рабочую температуру топливного элемента настолько, чтобы обеспечить оптимальную мощность топливного элемента, при которой теплота, выделяемая в процессе работы топливного элемента, является еще достаточной для того, чтобы перевести хладагент системы испарительного охлаждения из жидкого в газообразное агрегатное состояние и тем самым обеспечить надлежащее функционирование системы испарительного охлаждения.

Во время полета воздушное судно находится, в основном, в среде, давление которой ниже, чем атмосферное давление на уровне моря. Этот факт можно использовать особенно выгодным образом для системы топливного элемента согласно изобретению, установленной на борту воздушного судна, чтобы в течение большей части периода работы топливного элемента поддерживать рабочую температуру ниже 100°C, и по возможности в диапазоне оптимальных рабочих температур примерно от 60 до 90°C. Для этого требуется только расположить систему испарительного охлаждения, а точнее те части системы испарительного охлаждения, в которых испаряется хладагент, в области воздушного судна, где отсутствует внутреннее избыточное давление, и обеспечить их сообщение с окружающей атмосферой таким образом, чтобы создать в этих частях системы испарительного охлаждения пониженное давление, соответствующее давлению среды, окружающей воздушное судно.

Блок управления может, например, поддерживать рабочую температуру топливного элемента системы топливного элемента согласно изобретению, используемой на борту воздушного судна, на постоянном уровне, по возможности лежащем в области оптимальных рабочих температур топливного элемента, до тех пор, пока воздушное судно находится на постоянной высоте крейсерского полета. При наборе высоты воздушным судном блок управления может снижать рабочую температуру топливного элемента в зависимости от уменьшающегося внешнего давления, а при снижении воздушного судна увеличивать рабочую температуру топливного элемента в зависимости от повышающегося внешнего давления.

Если в системе испарительного охлаждения системы топливного элемента согласно изобретению в качестве хладагента используют воду, блок управления может поддерживать рабочую температуру топливного элемента равной, например, приблизительно 60°C, когда воздушное судно находится на постоянной высоте крейсерского полета, равной примерно 12192 м (40000 футов). При наборе высоты

воздушным судном от места старта, расположенного примерно на уровне моря, до достижения высоты крейсерского полета блок управления может, например, непрерывно снижать рабочую температуру топливного элемента примерно со 100°C до примерно 60°C в зависимости от понижающегося внешнего давления во время набора высоты. При снижении воздушного судна с высоты крейсерского полета до места посадки, расположенного примерно на уровне моря, блок управления, напротив, может непрерывно повышать рабочую температуру топливного элемента примерно с 60°C до примерно 100°C в зависимости от повышающегося внешнего давления.

В предпочтительном варианте осуществления системы топливного элемента согласно изобретению блок управления выполнен с возможностью регулирования рабочей температуры топливного элемента в зависимости от сигналов, которые поступают на блок управления от устройства для измерения давления в системе испарительного охлаждения, таким образом, чтобы испарение хладагента системы испарительного охлаждения под действием теплоты, выделяющейся в процессе работы топливного элемента, происходило в области влажного пара хладагента. Под влажным паром здесь понимается система, в которой кипящая жидкость и насыщенный пар находятся в равновесии.

Если испарение хладагента, используемого в системе испарительного охлаждения системы топливного элемента согласно изобретению, происходит в области влажного пара хладагента, то во время испарения хладагента кипящий хладагент в жидком агрегатном состоянии находится в равновесии с насыщенным паром хладагента. Это происходит в том случае, когда хладагент при испарении нагревается до его температуры испарения, зависимой от давления. Блок управления обеспечивает регулирование рабочей температуры топливного элемента предпочтительно таким образом, чтобы хладагент нагревался до температуры, соответствующей его температуре испарения, зависимой от давления. Так, например, топливный элемент может работать при температуре, которая на 0-5°C, предпочтительно на 1-3°C, выше, чем зависящая от давления температура испарения хладагента системы испарительного охлаждения.

Система топливного элемента согласно изобретению предпочтительно содержит также систему создания рабочего давления топливного элемента, которая предназначена для того, чтобы создавать требуемое давление в топливном элементе, а точнее в компонентах топливного элемента, в которые не встроены охлаждающие каналы системы испарительного охлаждения. Система создания рабочего давления в топливном элементе системы топливного элемента согласно изобретению может быть, например, встроена в систему подачи соответствующей среды системы топливного элемента и содержать компрессор для подачи окислителя в катодную область топливного элемента и/или соответствующее транспортировочное устройство для подачи топлива в анодную область топливного элемента. Система создания рабочего давления в топливном элементе служит для того, чтобы установить или поддерживать на требуемом уровне рабочее давление топливного элемента независимо от внешнего давления в окружающей среде топливного элемента и от давления в системе испарительного охлаждения.

Система создания рабочего давления в топливном элементе может быть выполнена с возможностью создания в топливном элементе давления, которое выше или ниже чем внешнее давление в окружающей среде топливного элемента и/или давление в системе испарительного охлаждения. Кроме того, система топливного элемента

согласно изобретению может содержать блок управления, выполненный, например, в виде электронного блока управления, для управления системой создания рабочего давления топливного элемента. Блок управления, предназначенный для управления системой создания рабочего давления топливного элемента, может представлять собой отдельный блок управления. В качестве альтернативы, блок управления для управления системой создания рабочего давления топливного элемента может быть также встроен в блок управления рабочей температурой топливного элемента.

Как указано выше, в системе топливного элемента согласно изобретению рабочую температуру топливного элемента постоянно регулируют в зависимости от давления в системе испарительного охлаждения таким образом, чтобы обеспечить переход хладагента, применяемого в системе испарительного охлаждения, из жидкого в газообразное агрегатное состояние за счет теплоты, выделяющейся в процессе работы топливного элемента. Однако при соответствующих высоких рабочих температурах может возникать проблема, которая заключается в том, что испарению подвергаются вещества или смеси веществ, например, такие как вода, которые обычно содержатся в жидком состоянии в топливном элементе, т.е. в анодной области, в катодной области, в области мембраны, отделяющей анодную область от катодной области, в анодных или катодных газопроводах.

Для того чтобы предотвратить нежелательное испарение веществ или смесей веществ, которые обычно содержатся в топливном элементе в жидком состоянии, в процессе работы топливного элемента, блок управления для управления системой создания рабочего давления в топливном элементе предпочтительно управляет системой создания рабочего давления в топливном элементе таким образом, чтобы обеспечить в топливном элементе давление, при котором предотвращается нежелательное испарение веществ или смесей веществ, обычно содержащихся в топливном элементе в жидком состоянии.

Блок управления для управления системой создания рабочего давления в топливном элементе может быть выполнен с возможностью регулирования рабочего давления в топливном элементе в зависимости от рабочей температуры указанного топливного элемента. Рабочая температура топливного элемента, используемая блоком управления системой создания рабочего давления в топливном элементе в качестве регулирующего параметра, может представлять собой значение рабочей температуры, заданное блоком управления рабочей температурой топливного элемента, или значение рабочей температуры топливного элемента, измеренное, например, при помощи температурного датчика. Альтернативно или дополнительно блок управления системой создания рабочего давления в топливном элементе может быть также выполнен с возможностью регулирования давления топливного элемента в зависимости от сигналов, которые поступают на него от устройства для измерения давления в системе испарительного охлаждения. Так, например, блок управления системой создания рабочего давления в топливном элементе на основании характеристических сигналов давления в системе испарительного охлаждения, поступающих от устройства для измерения давления, может рассчитывать заданную рабочую температуру топливного элемента и использовать ее в качестве регулирующего параметра для определения соответствующего заданного значения рабочего давления в топливном элементе.

Если в системе испарительного охлаждения системы топливного элемента согласно изобретению используют воду в качестве экологически безвредного хладагента, топливный элемент, представляющий собой, например, топливный элемент с РЕМ,

работает, в случае, если давление в системе испарительного охлаждения соответствует атмосферному давлению на уровне моря, предпочтительно при рабочей температуре примерно от 100 до 105°C. Блок управления системой создания рабочего давления в топливном элементе предпочтительно управляет системой создания рабочего давления в топливном элементе таким образом, чтобы обеспечить в топливном элементе рабочее давление, превышающее атмосферное давление на уровне моря, и равное, например, 2 бар. При давлении 2 бар температура испарения воды составляет 120,23°C, и таким образом, испарение воды, содержащейся в топливном элементе, т.е., например, в анодной области, в катодной области, в области мембраны, отделяющей анодную область от катодной области, в анодных или катодных газопроводах, при рабочей температуре топливного элемента надежно предотвращается.

Как указано выше, процесс испарения, протекающий в системе испарительного охлаждения системы топливного элемента согласно изобретению, позволяет отводить большое количество теплоты от топливного элемента. Затем теплоту, отводимую системой испарительного охлаждения от топливного элемента, необходимо либо отдать в окружающую среду, либо передать для дальнейшего использования. Процесс теплопередачи можно описать уравнением (6)

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta t_{mlog} \quad (6)$$

где $\dot{Q}$ - переносимая тепловая мощность, k - коэффициент теплопередачи, A - поверхность теплопередачи и Δt_{mlog} - перепад температур. Коэффициент теплопередачи k рассчитывают по уравнению (7)

$$1/k = 1/\alpha_{out} + s/\lambda + 1/\alpha_{in} \quad (7)$$

где s - толщина стенки, λ - коэффициент теплопроводности, а α - коэффициент теплоотдачи.

Коэффициент теплоотдачи α считается параметром, который оказывает основное влияние на величину тепловой мощности $\dot{Q}$, переносимую в ходе процесса

теплопередачи. Большой коэффициент теплоотдачи α обеспечивается процессом конденсации. Поэтому система испарительного охлаждения системы топливного элемента согласно изобретению предпочтительно содержит конденсатор для конденсации хладагента, испаряемого в процессе работы топливного элемента с целью охлаждения указанного топливного элемента. При таком варианте осуществления системы испарительного охлаждения поглощение теплоты реакции топливного элемента происходит в ходе процесса испарения, а отдача теплоты реакции топливного элемента - в ходе процесса конденсации. Поскольку процесс конденсации, как и процесс испарения, требует гораздо больше энергии, чем может поглотить, например, хладагент в жидком состоянии, система испарительного охлаждения, оснащенная конденсатором, работает особенно эффективно.

Еще одно достоинство системы испарительного охлаждения, оснащенной конденсатором, заключается в том, что ее можно использовать в качестве циркуляционной системы, в которой хладагент, сконденсированный в конденсаторе, в жидком агрегатном состоянии возвращается к топливному элементу и может снова испаряться там для его охлаждения. Однако предпочтительно в системе испарительного охлаждения, оснащенной конденсатором, функция охлаждения топливного элемента отделена от функции регенерации хладагента, таким образом, чтобы даже в случае отказа конденсатора обеспечивать достаточное охлаждение топливного элемента. Для того чтобы обеспечить достаточную подачу хладагента в

систему испарительного охлаждения, система топливного элемента согласно изобретению может содержать устройство подачи воды, образующейся в процессе работы топливного элемента, в систему испарительного охлаждения.

5 Теплоту, отводимую от топливного элемента при помощи системы испарительного охлаждения, можно отдавать в окружающую среду. Это является особенно рациональным в тех случаях, когда теплота выделяется при сравнительно низкой температуре, например 60°C.

10 Конденсатор, который позволяет осуществлять эффективный отвод в окружающую среду теплоты, выделяемой топливным элементом системы топливного элемента согласно изобретению, может быть выполнен в виде, например, наружной охлаждающей рубашки. Наружная охлаждающая рубашка может быть образована, например, стенкой, внутренняя часть которой, обращенная к системе топливного
15 элемента, контактирует с парообразным хладагентом и функционирует как конденсатор пара. В то же время, обращенная к окружающей среде внешняя сторона стенки, образующей наружную охлаждающую рубашку, функционирует в качестве нагревателя наружного воздуха. Конденсатор, выполненный в виде наружной охлаждающей рубашки особенно пригоден для использования в системе топливного
20 элемента согласно изобретению, применяемой на борту воздушного судна. В этом случае наружная охлаждающая рубашка может быть образована, например, участком внешней обшивки воздушного судна, который с внутренней стороны контактирует с хладагентом, испаряемым во время работы топливного элемента с целью охлаждения топливного элемента.

25 Если использовать в качестве наружной охлаждающей рубашки участок внешней обшивки воздушного судна, то можно простым способом и без дополнительных компонентов получить большие поверхности теплопередачи. В результате получается значительный выигрыш в весе. Кроме того, наружная охлаждающая рубашка,
30 образованная, например, участком внешней обшивки воздушного судна, отличается высокой хладопроизводительностью и за счет отсутствия трубопроводов позволяет получить дополнительный выигрыш в весе. При этом отвод тепла при помощи наружной охлаждающей рубашки осуществляется бесшумно и не требует перемещений больших воздушных масс, которые могли бы привести к возникновению
35 нежелательного дополнительного сопротивления воздуха в случае использования системы топливного элемента согласно изобретению в воздушном судне.

Альтернативно или дополнительно к той теплоте реакции, выделяемой в процессе работы топливного элемента системы топливного элемента согласно изобретению,
40 которая отводится в окружающую среду, теплоту реакции, выделяемую топливным элементом, можно регенерировать и использовать. Для этой цели система топливного элемента согласно изобретению может содержать по меньшей мере одно устройство для использования теплоты, накопленной в хладагенте. Использование теплоты, накопленной в хладагенте, может быть прямым или косвенным. Так, например,
45 хладагент в газообразном агрегатном состоянии можно непосредственно подавать в устройство для использования теплоты, накопленной в хладагенте. Однако в этом случае отобранный хладагент должен быть возвращен в систему испарительного охлаждения, чтобы обеспечить надлежащее охлаждение топливного элемента.

50 Альтернативно или дополнительно можно передавать только теплоту, накопленную в хладагенте, в устройство для использования этой теплоты. Для этой цели хладагент в газообразном агрегатном состоянии можно, например, пропускать через теплообменник, который находится в тепловом контакте с устройством для

использования теплоты, накопленной в хладагенте. Кроме того, конденсатор, предусмотренный в системе испарительного охлаждения, может быть выполнен и/или расположен таким образом, чтобы теплота, высвобождающаяся при конденсации хладагента в конденсаторе, передавалась в устройство для использования теплоты, накопленной в хладагенте.

Устройство для использования теплоты, накопленной в хладагенте, может предпочтительно представлять собой нагревательное устройство, выполненное в виде нагревателя парового отопления, который использует теплоту, накопленную в хладагенте, в целях обогрева. Альтернативно этому устройству для использования теплоты, накопленной в хладагенте, может представлять собой установку опреснения воды, предназначенную для получения питьевой воды из морской воды. В случае использования системы топливного элемента согласно изобретению в воздушном судне устройство для использования теплоты, накопленной в хладагенте, предпочтительно представляет собой противообледенительную установку воздушного судна.

И, наконец, представляется возможным использовать воду, применяемую в качестве хладагента в системе испарительного охлаждения, в установке для подачи воды и/или водяного пара в выхлопную газовую струю воздушного судна. Это позволяет уменьшить выброс вредных веществ авиационным двигателем.

Предпочтительный вариант осуществления системы топливного элемента согласно изобретению содержит также устройство для отвода хладагента в окружающую среду. Такое устройство для отвода хладагента в окружающую среду предпочтительно служит для того, чтобы отводить в окружающую среду хладагент в газообразном агрегатном состоянии в тех случаях, когда теплота, накопленная в хладагенте, не отводится в достаточной степени в окружающую среду или не может быть использована каким-либо иным способом. Устройство для отвода хладагента в окружающую среду может быть выполнено, например, в виде выпускного клапана и может самостоятельно поддерживать надежную работу системы топливного элемента согласно изобретению, когда отвод теплоты, накопленной в хладагенте, затруднен, например, по причине высокой температуры окружающей среды или безветрия.

Согласно способу эксплуатации системы топливного элемента по изобретению, содержащей топливный элемент и систему испарительного охлаждения, которая находится в тепловом контакте с топливным элементом, для поглощения теплоты, выделяющейся в процессе работы топливного элемента, путем испарения хладагента и отвода ее от топливного элемента, измеряют давление в системе испарительного охлаждения при помощи соответствующего устройства для измерения давления. Рабочую температуру топливного элемента регулируют при помощи блока управления в зависимости от сигналов, которые поступают на блок управления от устройства для измерения давления. Регулирование рабочей температуры топливного элемента осуществляют таким образом, чтобы обеспечить переход хладагента системы испарительного охлаждения из жидкого в газообразное агрегатное состояние под действием теплоты, которая выделяется в процессе работы топливного элемента.

Рабочую температуру топливного элемента предпочтительно регулируют в зависимости от сигналов, которые поступают на блок управления от устройства для измерения давления, таким образом, чтобы испарение хладагента системы испарительного охлаждения под действием теплоты, которая выделяется в процессе работы топливного элемента, происходило в области влажного пара хладагента.

В предпочтительном варианте осуществления способа эксплуатации системы

топливного элемента согласно изобретению в топливном элементе при помощи системы создания рабочего давления обеспечивают требуемое давление. Так, например, требуемое давление при помощи системы создания рабочего давления в топливном элементе обеспечивают в анодной области, в катодной области, в области мембраны, отделяющей анодную область от катодной области, в анодных и катодных газопроводах топливного элемента.

Блок управления может управлять системой создания рабочего давления в топливном элементе таким образом, чтобы создавать в топливном элементе давление, при котором предотвращается нежелательное испарение веществ и/или смесей веществ, обычно содержащихся в топливном элементе в жидком состоянии.

Блок управления для управления системой создания давления в топливном элементе регулирует давление в топливном элементе в зависимости от рабочей температуры топливного элемента и/или в зависимости от сигналов устройства для измерения давления в системе испарительного охлаждения.

Хладагент, испаряющийся в процессе работы топливного элемента для охлаждения указанного топливного элемента, может быть сконденсирован в конденсаторе. Хладагент предпочтительно конденсируется в конденсаторе, выполненном в виде наружной охлаждающей рубашки.

Альтернативно или дополнительно к этому теплоту, накопленную в хладагенте, можно передавать также по меньшей мере в одно устройство для использования этой теплоты. Так, например, теплоту, накопленную в хладагенте, можно подводить к устройству для использования этой теплоты, которое выполнено в виде нагревателя парового отопления, установки опреснения воды или противообледенительной установки воздушного судна.

Кроме того, воду, применяемую в системе испарительного охлаждения в качестве хладагента, можно вводить в жидком или парообразном состоянии в выхлопную газовую струю воздушного судна.

В случае необходимости, т.е. когда надлежащий отвод или использование теплоты, накопленной в хладагенте, являются невозможными, хладагент предпочтительно отводят в окружающую среду.

Система топливного элемента согласно изобретению особенно пригодна для применения в качестве блока энергообеспечения на основе топливного элемента в летательном аппарате, в частности в воздушном судне. Систему топливного элемента можно использовать, в частности, в качестве замены вспомогательного блока питания (Auxiliary Power Unit, APU) или турбины с приводом от набегающего потока воздуха (Ram Air Turbine, RAT) или системы энергообеспечения для противообледенительной системы крыла (Wing-Anti-Ice-System, WAIS). Для того чтобы обеспечить электрическую мощность, которая требуется для воздушного судна, можно использовать систему топливного элемента, который способен вырабатывать электрическую мощность 1 МВт. Испарительная система охлаждения системы топливного элемента, несмотря на ее малый вес и компактную конструкцию, может обеспечивать хладопроизводительность, достаточную для охлаждения топливного элемента высокой мощности. Кроме того, возможна автономная эксплуатация системы охлаждения независимо от других систем воздушного судна, например установки кондиционирования воздуха воздушного судна. Систему топливного элемента согласно изобретению можно таким образом использовать на борту воздушного судна, например, в качестве автономного блока аварийного электроснабжения.

В воздушном судне, оснащенном системой топливного элемента согласно изобретению, систему топливного элемента или по меньшей мере части системы испарительного охлаждения, в которых испаряется хладагент, предпочтительно размещают в той зоне воздушного судна, где отсутствует внутреннее избыточное давление. Такие зоны воздушного судна могут находиться, например, в оболочке основной конструкции/фюзеляжа (фюзеляжном обтекателе) и в хвостовой части фюзеляжа.

Краткое описание чертежей

Далее приведено более подробное описание трех предпочтительных примеров осуществления системы топливного элемента согласно изобретению со ссылками на сопровождающие схематические чертежи, на которых представлены:

Фиг.1 - схематическое изображение первого варианта осуществления системы топливного элемента,

Фиг.2 - схематическое изображение второго варианта осуществления системы топливного элемента, и

Фиг.3 - схематическое изображение третьего варианта осуществления системы топливного элемента.

Осуществление изобретения

На Фиг.1 - показана система 10 топливного элемента, которая расположена в фюзеляжном обтекателе 12, т.е. в той зоне воздушного судна, в которой отсутствует избыточное давление. Система 10 топливного элемента содержит топливный элемент 14, выполненный в виде батареи топливных элементов. Топливный элемент 14 представляет собой низкотемпературный топливный элемент с мембраной из полимерного электролита (Polymerelektrolytmembran, PEM) и имеет диапазон рабочих температур от 60 до 110°C. Диапазон оптимальных рабочих температур топливного элемента 14 охватывает температуры от 60 до 90°C.

Система 16 испарительного охлаждения, предусмотренная для охлаждения топливного элемента 14, содержит охлаждающие каналы 17, которые выполнены в биполярных пластинах топливного элемента 14, не показанных более детально на Фиг.1. В процессе работы топливного элемента 14 по охлаждающим каналам 17 протекает вода, которая служит в качестве хладагента. Насос 18 подает воду в охлаждающие каналы 17 в жидком агрегатном состоянии из резервуара 20 для хладагента.

Внутри фюзеляжного обтекателя 12 находится также датчик 22 давления. Датчик 22 давления измеряет давление во внутренней части фюзеляжного обтекателя 12, которое соответствует давлению в системе 16 испарительного охлаждения, т.е. давлению в охлаждающих каналах 17. Как указано выше, фюзеляжный обтекатель 12 относится к тем зонам воздушного судна, в которых отсутствует внутреннее избыточное давление, поэтому давление p_1 , которое имеется внутри фюзеляжного обтекателя 12 и измеряется датчиком 22 давления, по существу, соответствует внешнему давлению p_A окружающей среды воздушного судна. Во время полета воздушного судна и в особенности, когда воздушное судно находится на высоте крейсерского полета, это давление значительно ниже, чем атмосферное давление на уровне моря.

Сигналы датчика 22 давления, соответствующие давлению окружающей среды во внутренней части фюзеляжного обтекателя 12, поступают на электронный блок 24 управления. На основании сигналов датчика 22 давления электронный блок 24 управления регулирует рабочую температуру топливного элемента 14 таким образом, чтобы вода при протекании по охлаждающим каналам 17, выполненным в

биполярных пластинах топливного элемента 14, переходила из жидкого в газообразное агрегатное состояние. За счет испарения воды, протекающей по охлаждающим каналам 17, происходит поглощение теплоты реакции, выделяемой в процессе работы топливного элемента 14, водой, которая служит в качестве хладагента.

В частности, электронный блок 24 управления регулирует рабочую температуру топливного элемента 14 в зависимости от поступающих сигналов датчика 22 давления таким образом, чтобы испарение воды, протекающей по охлаждающим каналам 17 системы 16 испарительного охлаждения, под действием теплоты реакции, выделяющейся в процессе работы топливного элемента 14, происходило в области влажного пара. Для этого блок 24 управления постоянно регулирует рабочую температуру топливного элемента 14 таким образом, чтобы рабочая температура топливного элемента 14 была на 0-5°C выше, чем зависящая от давления температура испарения хладагента, в частности воды.

При этом блок 24 управления регулирует рабочую температуру топливного элемента 14 в зависимости от высоты полета воздушного судна и соответствующего давления в фюзеляжном обтекателе 12 таким образом, что она всегда меняется в соответствии с зависимой от давления кривой испарения хладагента, в частности воды. Соответствующие значения температуры кипения или испарения и давления кипения или испарения хладагента, в частности воды, в зависимости от высоты полета воздушного судна представлены в таблице 1.

Таблица 1		
Температура кипения и давление кипения хладагента, в частности воды, в зависимости от высоты полета воздушного судна (северное полушарие, 45° северной широты, июль).		
Температура кипения, [°C]	Давление кипения, [бар]	Высота полета, [м]
59	0,1901	12497 (41000 футов)
60	0,1992	12192 (40000 футов)
70	0,3116	9144 (30000 футов)
80	0,4736	6096 (20000 футов)
90	0,7011	3048 (10000 футов)
100	1,0132	0
100,23	2	-

Как следует из таблицы, топливный элемент 14 может функционировать при рабочей температуре около 60°C, когда воздушное судно находится на крейсерской высоте. Во время набора высоты и при снижении воздушного судна блок 24 управления непрерывно адаптирует рабочую температуру топливного элемента 14 к изменяющемуся давлению окружающей среды. Иными словами, рабочая температура топливного элемента 14 корректируется в соответствии с зависимой от давления кривой испарения хладагента, в частности воды, таким образом, чтобы испарение хладагента, в частности воды, в охлаждающих каналах 17 системы 16 испарительного охлаждения происходило в области влажного пара как во время набора высоты и при снижении воздушного судна. Тем самым постоянно обеспечивается надлежащее испарение хладагента, протекающего в охлаждающих каналах 17 системы 16 испарительного охлаждения. Одновременно с этим предотвращается работа топливного элемента 14 при излишне высоких температурах.

Таблица 1 показывает, что топливный элемент 14 большую часть рабочего времени может функционировать в диапазоне оптимальных рабочих температур от 60 до 90°C. Более высокие рабочие температуры топливного элемента 14 требуются только в тех случаях, когда воздушное судно находится в полете на высоте менее 3048 м (10000

футов) или на земле.

Для того чтобы в процессе работы топливного элемента 14 предотвратить нежелательное испарение воды, обычно содержащейся в жидком состоянии в топливном элементе 14, т.е., например, в анодной области, в катодной области, в области мембраны, отделяющей анодную область от катодной области, в анодных или катодных газопроводах, блок 24 управления управляет системой 25 создания рабочего давления в топливном элементе, которая встроена в систему подачи среды в топливный элемент 14, таким образом, чтобы создать в топливном элементе 14 давление, при котором исключается нежелательное испарение жидкой воды, содержащейся в топливном элементе. Низкотемпературный топливный элемент 14 с РЕМ, показанный на Фиг.1, имеет рабочее давление 2 бар. При давлении 2 бар температура испарения воды составляет 120,23°C, поэтому испарение жидкой воды, содержащейся в топливном элементе 14, надежно исключается во всем диапазоне рабочих температур топливного элемента 14.

Система 10 топливного элемента, показанная на Фиг.1, содержит также конденсатор 26, выполненный в виде наружной охлаждающей рубашки. Конденсатор 26 служит для того, чтобы возвращать в жидкое агрегатное состояние воду, которая испаряется в процессе работы топливного элемента 14 для его охлаждения. Конденсатор 26 образован участком внешней обшивки воздушного судна в области фюзеляжного обтекателя 12, который выполнен из титанового сплава, из алюминиевого сплава, из волокнистого композиционного материала или из алюминия, армированного стекловолокном. Вода, испаряющаяся при протекании по охлаждающим каналам 17 системы 16 испарительного охлаждения, выходит из охлаждающих каналов по выпускному паропроводу 28, распределяется во внутренней части фюзеляжного обтекателя 12 и перемещается к внутренней стороне наружной обшивки воздушного судна без каких-либо трубопроводов. Водяной пар конденсируется на внутренней стороне наружной обшивки воздушного судна и через наружную сторону наружной обшивки воздушного судна отдает высвободившуюся теплоту конденсации в окружающую среду.

Если топливный элемент 14 генерирует электрическую мощность, равную, например, 1 МВт, в процессе работы топливного элемента 14 необходимо испарять 0,5 литра воды в секунду, чтобы обеспечить надлежащий отвод теплоты реакции от топливного элемента 14. Водяной пар проходит по выпускному паропроводу 28 через внутреннее пространство фюзеляжного обтекателя 12 к внутренней стороне наружной обшивки воздушного судна и там конденсируется. Таким образом, в процессе работы топливного элемента 14 сконденсированная вода стекает в количестве примерно 0,5 литра в секунду по внутренней стороне наружной обшивки воздушного судна.

Конденсированная вода, стекающая по внутренней стороне наружной обшивки воздушного судна, собирается в зоне 30 сбора конденсата. Зона 30 сбора конденсата находится в той части наружной обшивки воздушного судна, которая образует конденсатор 26 и расположена вблизи пола, поэтому для сбора конденсированной воды можно использовать силу тяжести. Из зоны 30 сбора конденсата конденсированную воду при помощи насоса 18 подают либо в резервуар 20 для хладагента, либо возвращают непосредственно в охлаждающие каналы 17, выполненные в биполярных пластинах топливного элемента 14. При этом образуется замкнутый контур циркуляции хладагента.

Компоненты, расположенные внутри фюзеляжного обтекателя 12, должны быть, разумеется, защищены от влаги. Однако, поскольку во внутреннюю часть

фюзеляжного обтекателя 12 в процессе работы топливного элемента 14 по выпускному паропроводу 28 непрерывно поступает пар с температурой по меньшей мере 60°C, можно отказаться от защиты компонентов, расположенных внутри

фюзеляжного обтекателя 12, от льда и холода во время полета воздушного судна.
 5 Фюзеляжный обтекатель 12 можно использовать в качестве отсека для размещения системы 10 топливного элемента. Водяной пар, образующийся в системе 16 испарительного охлаждения, можно использовать для вентиляции и/или создания инертной атмосферы в указанном отсеке.

10 Для того чтобы обеспечить надежную работу системы 10 топливного элемента даже в том случае, когда надлежащий отвод теплоты реакции топливного элемента, накопленной в хладагенте, в частности в воде, посредством конденсатора 26 затруднен, например, по причине высокой температуры окружающей среды или безветрия, система 10 топливного элемента содержит также устройство для отвода в
 15 окружающую среду хладагента, в частности воды, выполненное в виде паровыпускных клапанов 32, 34. Управление паровыпускными клапанами 32, 34 осуществляется при помощи электронного блока 24 управления. Для этой цели блок 24 управления получает сигналы от датчика 22 давления и/или датчика 36 температуры, предназначенного для измерения температуры внутри фюзеляжного обтекателя 12. Когда датчик 22 давления и/или датчик 36 температуры указывает, что давление и/или температура в фюзеляжном обтекателе 12 превысили предварительно установленное критическое максимальное значение, блок 24 управления открывает паровыпускные клапаны 32, 34, при этом водяной пар, поступающий во внутреннюю
 20 часть фюзеляжного обтекателя 12 по выпускному паропроводу 28, и тепловая энергия, накопленная в этом паре, могут быть выведены из внутренней части фюзеляжного обтекателя 12 в окружающую среду.

Для того чтобы обеспечить надлежащее функционирование системы 16 испарительного охлаждения даже в случае выхода из строя конденсатора 26 или после
 30 выпуска хладагента в окружающую среду, необходимо обеспечить подачу хладагента в систему 16 испарительного охлаждения, независимую от конденсации хладагента, испаряющегося в при протекании по охлаждающим каналам 17, т.е. обеспечить подачу хладагента в резервуар 20 для хладагента или в охлаждающие каналы 17. Для
 35 этой цели система 10 топливного элемента содержит устройство 35 отбора технологической воды, которое служит для того, чтобы отбирать воду, которая образуется в процессе топливного элемента 14 и подавать ее в резервуар 20 для хладагента системы 16 испарительного охлаждения.

40 И, наконец, система 10 топливного элемента содержит накопительную систему 37 для накопления электрической энергии, которую вырабатывает топливный элемент 14. Накопительная система 37 служит для накопления и временного хранения избыточной энергии, которую вырабатывает топливный элемент 14, и для передачи ее в случае необходимости потребителям, которые расположены на борту воздушного
 45 судна и которые снабжаются электрической энергией от системы 10 топливного элемента. Накопительная система 37 может содержать, например, один или несколько суперконденсаторов.

Фюзеляжный обтекатель 12 может быть выполнен, по существу, в виде резервуара
 50 высокого давления. В этом случае давление p_1 внутри фюзеляжного обтекателя 12 может превышать давление p_A окружающей среды. Поскольку пар хладагента является сжимаемым, внутреннее пространство фюзеляжного обтекателя 12 может служить также в качестве накопительной емкости для улавливания колебаний

нагрузки. Кроме того, при целенаправленном изменении давления p_1 внутри фюзеляжного обтекателя 12 путем соответствующего управления насосом 18, поступлением тепла от топливного элемента 14 и паровыпускными клапанами 32, 34 оказывает влияние на интенсивность теплопередачи на внутренней стороне стенки фюзеляжного обтекателя, поскольку теплопередача зависит от давления. Однако выполнение фюзеляжного обтекателя в виде резервуара высокого давления требует соответствующего увеличения толщины стенки фюзеляжного обтекателя и поэтому приводит к нежелательному увеличению веса.

Система 10 топливного элемента, показанная на Фиг.2, отличается от системы топливного элемента, показанной на Фиг.1, тем, что топливный элемент 14 представляет собой не низкотемпературный топливный элемент с РЕМ, а высокотемпературный топливный элемент с РЕМ. Высокотемпературный топливный элемент 14 с РЕМ согласно Фиг.2 обычно имеет более высокие рабочие температуры (до 200°C), чем низкотемпературный топливный элемент 14 с РЕМ, показанный на Фиг.1.

Кроме того, в выпускном паропроводе 28, связанном с охлаждающими каналами 17 системы 16 испарительного охлаждения, установлен клапан 40, который в закрытом положении ограничивает камеру давления, содержащую охлаждающие каналы 17 системы 16 испарительного охлаждения. Эта камера давления может быть выполнена таким образом, что способна выдерживать избыточное давление в несколько бар. Благодаря этому, при помощи насоса 18 в камере давления, содержащей охлаждающие каналы 17 системы 16 испарительного охлаждения, можно создать давление p_2 , превышающее давление p_1 в фюзеляжном обтекателе 12. Для измерения давления в этой камере давления может быть предусмотрен датчик давления, не показанный на Фиг.2.

В системе 10 топливного элемента, показанной на Фиг.2, при давлении в охлаждающих каналах 17 системы 16 испарительного охлаждения, соответствующем низкому давлению p_A окружающей среды, по причине большой разности между относительно низкой температурой испарения хладагента при низком давлении и относительно высокой рабочей температурой высокотемпературного топливного элемента 14 с РЕМ в охлаждающих каналах 17 системы 16 испарительного охлаждения может возникнуть пароперегрев, который приводит к перегреву и повреждению материалов в охлаждающих каналах 17 системы 16 испарительного охлаждения. Во избежание этого давление в охлаждающих каналах 17 системы 16 испарительного охлаждения специально повышают при помощи насоса 18, чтобы повысить температуру испарения хладагента и обеспечить оптимальную испаряемость хладагента при рабочей температуре высокотемпературного топливного элемента 14 с РЕМ.

Блок 24 управления может регулировать рабочую температуру топливного элемента 14 в зависимости от давления в охлаждающих каналах 17 системы 16 испарительного охлаждения таким образом, чтобы испарение воды, протекающей по охлаждающим каналам, под действием теплоты реакции, вырабатываемой топливным элементом 14, происходило в области влажного пара. Альтернативно этому блок управления 24 может использовать рабочую температуру топливного элемента 14 в качестве управляющей переменной и регулировать давление в охлаждающих каналах 17 системы 16 испарительного охлаждения в зависимости от рабочей температуры топливного элемента 14 таким образом, чтобы испарение воды, протекающей по охлаждающим каналам, под действием теплоты реакции,

вырабатываемой топливным элементом 14, происходило в области влажного пара. Поэтому система 10 топливного элемента, показанная на Фиг.2, может работать независимо от давления p_A окружающей среды и, следовательно, независимо от высоты полета воздушного судна. Кроме того, изменение давления в охлаждающих каналах 17 системы 16 испарительного охлаждения позволяет управлять теплопередачей в охлаждающих каналах 17. Блок 24 управления осуществляет согласованное управление насосом 18, теплотой реакции, которую вырабатывает топливный элемент 14, клапаном 40 и паровыпускными клапанами 32, 34 в зависимости от метеорологических и эксплуатационных параметров влияния, в частности, от высоты полета, потребной нагрузки бортовой электрической сети, степени зарядки накопительной системы 37 и т.п. В остальном конструкция и принцип функционирования системы 10 топливного элемента, показанной на Фиг.2, соответствует конструкции и принципу функционирования системы, показанной на Фиг.1.

Система 10 топливного элемента, показанная на Фиг.3, отличается от системы, показанной на Фиг.2, тем, что система 10 топливного элемента содержит не только конденсатор 26 для отвода теплоты реакции топливного элемента в окружающую среду, но также и устройство 42, выполненное в виде противообледенительной установки и предназначенное для использования теплоты, накопленной в хладагенте, в частности в воде. Противообледенительная установка содержит два паропровода 44, 46, которые ответвляются от выпускного паропровода 28 и по которым водяной пар, выходящий из охлаждающих каналов 17 системы 16 испарительного охлаждения, может отводиться и подаваться на элементы воздушного судна, защищаемые от обледенения.

При прохождении по паропроводам 44, 46 водяной пар отдает накопленную в нем тепловую энергию защищаемым от обледенения элементам воздушного судна, а затем возвращается в еще газообразной или жидкой форме во внутреннюю часть фюзеляжного обтекателя 12. Для создания требуемого давления в паропроводах 44, 46 в них установлены клапаны 48, 50, 52, 54 регулировки давления. Клапаны настраивают в зависимости от требуемого давления p_2 в охлаждающих каналах 17 системы 16 испарительного охлаждения и требуемого давления p_3 в паропроводах 44, 46. При этом, однако, давление p_3 в паропроводах 44, 46 не может превышать давление p_2 в охлаждающих каналах 17 системы 16 испарительного охлаждения. Изменение давления в паропроводах 44, 46 позволяет управлять теплопередачей в паропроводах 44, 46. Блок 24 управления осуществляет согласованное управление насосом 18, теплотой реакции, которую вырабатывает топливный элемент 14, клапаном 40, клапанами 48, 50, 52, 54 регулировки давления и паровыпускными клапанами 32, 34 в зависимости от метеорологических и эксплуатационных параметров влияния, в частности от высоты полета, потребной нагрузки бортовой электрической сети, степени зарядки накопительной системы 37 и т.п., и в случае необходимости в соответствии с заданием может управлять первостепенной защитой от обледенения основной конструкции воздушного судна.

Кроме того, система 10 топливного элемента, показанная на Фиг.3, содержит два подающих устройства 56 для подачи водяного пара в выхлопную газовую струю двух двигателей 58 воздушного судна. Водяной пар может всасываться в выхлопную газовую струю двигателей 58 воздушного судна, например, при помощи трубок Вентури. Благодаря подаче водяного пара в выхлопную газовую струю двигателей 58 воздушного судна, можно уменьшить выброс вредных веществ двигателями 58. В

остальном конструкция и принцип функционирования системы 10 топливного элемента, показанной на Фиг.3, соответствует конструкции и принципу функционирования системы, показанной на Фиг.2.

5

Формула изобретения

1. Система (10) топливного элемента, содержащая:

- топливный элемент (14) и

- систему (16) испарительного охлаждения, которая находится в тепловом контакте

10 с топливным элементом (14) для поглощения теплоты, которую выделяет в процессе работы топливный элемент (14), путем испарения хладагента и отвода указанной теплоты от топливного элемента (14),

отличающаяся тем, что предусмотрены устройство (22) для измерения давления в системе (16) испарительного охлаждения и блок (24) управления, выполненный с
15 возможностью регулирования рабочей температуры топливного элемента (14) в зависимости от сигналов, поступающих на блок (24) управления от устройства (22) для измерения давления в системе (16) испарительного охлаждения, таким образом, чтобы обеспечить переход хладагента системы (16) испарительного охлаждения из
20 жидкого в газообразное агрегатное состояние под действием теплоты, которую выделяет в процессе работы топливный элемент (14).

2. Система по п.1, отличающаяся тем, что блок (24) управления выполнен с возможностью регулирования рабочей температуры топливного элемента (14) в зависимости от сигналов, которые поступают на блок (24) управления от
25 устройства (22) для измерения давления в системе (16) испарительного охлаждения, таким образом, чтобы испарение хладагента в системе (16) испарительного охлаждения под действием теплоты, которую выделяет в процессе работы топливный элемент (14), происходило в области влажного пара хладагента.

3. Система по п.1, отличающаяся тем, что предусмотрены система (25) создания рабочего давления в топливном элементе, выполненная с возможностью создания
30 требуемого давления в топливном элементе (14), и блок (24) управления для управления системой (25) создания рабочего давления в топливном элементе.

4. Система по п.3, отличающаяся тем, что блок (24) управления для управления
35 системой (25) создания рабочего давления в топливном элементе выполнен с возможностью управления системой (25) создания рабочего давления в топливном элементе таким образом, чтобы обеспечить в топливном элементе (14) давление, при котором предотвращается нежелательное испарение веществ и/или смесей веществ,
40 содержащихся в топливном элементе (14) в жидком состоянии.

5. Система по п.3, отличающаяся тем, что блок (24) управления для управления
системой (25) создания рабочего давления в топливном элементе выполнен с
возможностью регулирования давления в топливном элементе (14) в зависимости от
рабочей температуры топливного элемента (14) и/или в зависимости от сигналов
45 устройства (22) для измерения давления в системе (16) испарительного охлаждения.

6. Система по п.1, отличающаяся тем, что система (16) испарительного охлаждения
содержит конденсатор (26) для конденсации хладагента, испаряемого в процессе
работы топливного элемента (14) с целью охлаждения указанного топливного
50 элемента (14).

7. Система по п.6, отличающаяся тем, что конденсатор (26) выполнен в виде
наружной охлаждающей рубашки.

8. Система по п.1, отличающаяся тем, что предусмотрено по меньшей мере одно

устройство (42) для использования теплоты, накопленной в хладагенте.

9. Система по п.8, отличающаяся тем, что указанное устройство (42) для использования теплоты, накопленной в хладагенте, представляет собой нагреватель парового отопления, установку опреснения воды или противообледенительную
5 установку воздушного судна.

10. Система по п.1, отличающаяся тем, что предусмотрено устройство (24, 34) для отвода хладагента в окружающую среду.

11. Способ эксплуатации системы (10) топливного элемента, содержащей
10 топливный элемент (14) и систему (16) испарительного охлаждения, которая находится в тепловом контакте с топливным элементом (14) для поглощения теплоты, которую выделяет в процессе работы топливный элемент (14), путем испарения хладагента и отвода указанной теплоты от топливного элемента (14), отличающийся тем, что содержит этапы, на которых:

15 - измеряют давление в системе (16) испарительного охлаждения при помощи устройства (22) для измерения давления и

- регулируют рабочую температуру топливного элемента (14) при помощи блока (24) управления в зависимости от сигналов, которые поступают на блок (24)
20 управления от устройства (22) для измерения давления, таким образом, чтобы обеспечить переход хладагента системы (16) испарительного охлаждения из жидкого в газообразное агрегатное состояние под действием теплоты, которая выделяется в процессе работы топливного элемента (14).

12. Способ по п.11, отличающийся тем, что рабочую температуру топливного
25 элемента (14) регулируют в зависимости от сигналов, которые поступают на блок (24) управления от устройства (22) для измерения давления, таким образом, чтобы испарение хладагента системы (16) испарительного охлаждения под действием теплоты, которая выделяется в процессе работы топливного элемента (14),
30 происходило в области влажного пара хладагента.

13. Способ по п.11, отличающийся тем, что при помощи системы (25) создания рабочего давления в топливном элементе обеспечивают требуемое давление в топливном элементе (14).

14. Способ по п.13, отличающийся тем, что при помощи блока (24) управления для
35 управления системой (25) создания рабочего давления в топливном элементе обеспечивают управление системой (25) создания рабочего давления в топливном элементе таким образом, чтобы создавать в топливном элементе (14) давление, при котором предотвращается нежелательное испарение веществ и/или смесей веществ,
40 находящихся в топливном элементе (14) в жидком состоянии.

15. Способ по п.11, отличающийся тем, что при помощи блока (24) управления для
управления системой (25) создания рабочего давления в топливном элементе регулируют давление в топливном элементе (14) в зависимости от рабочей
температуры топливного элемента (14) и/или в зависимости от сигналов
45 устройства (22) для измерения давления.

16. Способ по п.11, отличающийся тем, что при помощи конденсатора (26) обеспечивают конденсацию хладагента, испаряющегося в процессе работы топливного элемента (14) для охлаждения указанного топливного элемента (14).

17. Способ по п.16, отличающийся тем, что обеспечивают конденсацию хладагента
50 в конденсаторе (26), выполненном в виде охлаждающей рубашки.

18. Способ по п.11, отличающийся тем, что теплоту, накопленную в хладагенте, передают по меньшей мере в одно устройство (42), предназначенное для

использования этой теплоты.

19. Способ по п.18, отличающийся тем, что теплоту, накопленную в хладагенте, передают в устройство (42) для использования этой теплоты, выполненное в виде нагревателя парового отопления, установки опреснения воды или

5 противообледенительной установки воздушного судна.

20. Способ по п.11, отличающийся тем, что хладагент отводят в окружающую среду.

21. Воздушное судно, содержащее систему (10) топливного элемента по одному из пп.1-10.

10 22. Воздушное судно по п.21, отличающееся тем, что система (10) топливного элемента расположена в той области воздушного судна, где отсутствует внутреннее избыточное давление.

15

20

25

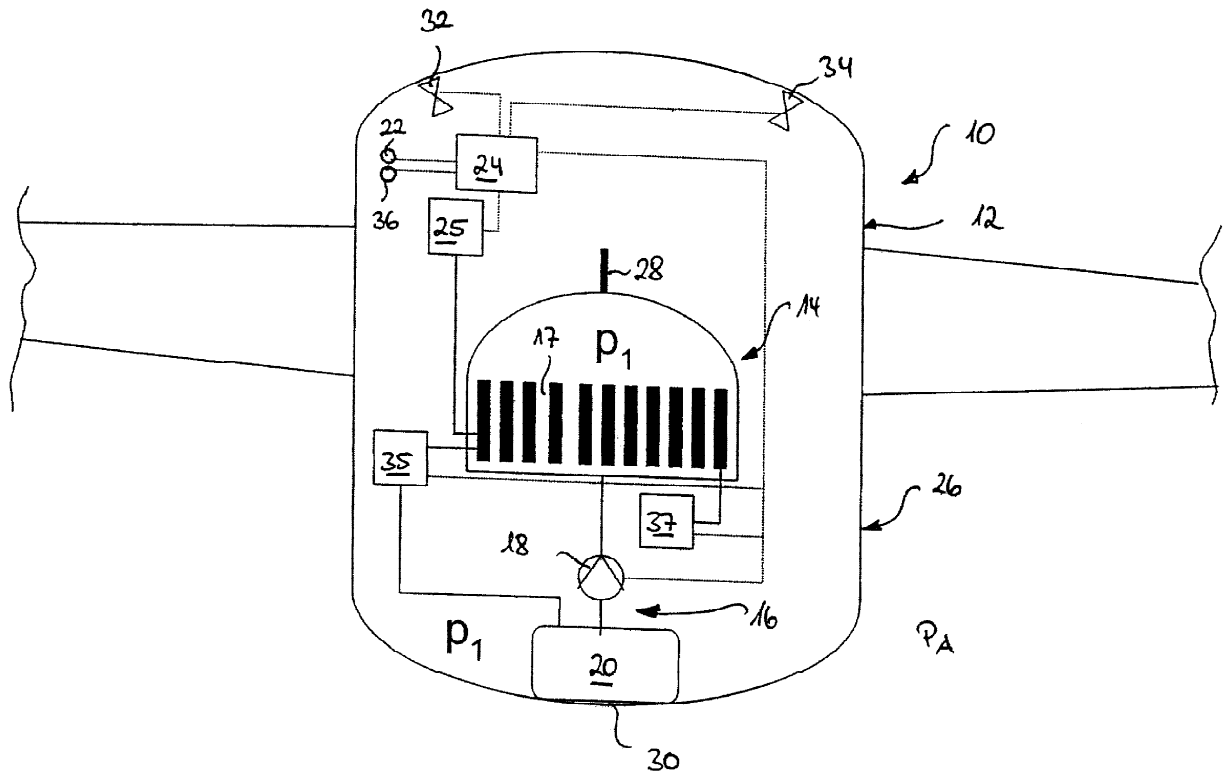
30

35

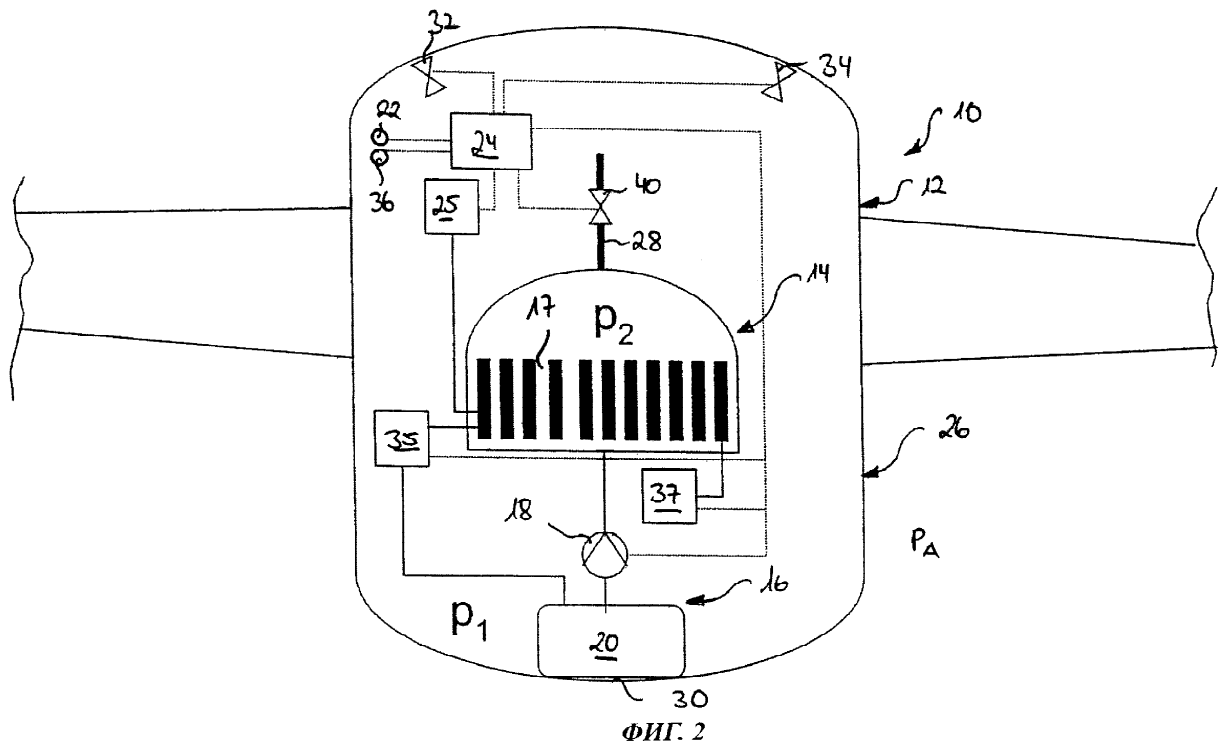
40

45

50



ФИГ. 1



ФИГ. 2

