

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **042233**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента	(51) Int. Cl.	<i>F01K 3/00</i> (2006.01)
2023.01.25		<i>F01K 3/18</i> (2006.01)
(21) Номер заявки		<i>F01K 25/10</i> (2006.01)
202192154		<i>F01K 7/34</i> (2006.01)
(22) Дата подачи заявки		<i>F03D 9/17</i> (2016.01)
2019.12.17		<i>F03D 9/18</i> (2016.01)
		<i>F01K 3/02</i> (2006.01)
		<i>F01K 9/00</i> (2006.01)

(54) **УСТАНОВКА И СПОСОБ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ**

(31) 102019000002385	(56) US-A1-2010101231
(32) 2019.02.19	WO-A1-2008108435
(33) IT	US-A1-2018340712
(43) 2021.12.01	GB-A-2537126
(86) PCT/IB2019/060896	
(87) WO 2020/039416 2020.02.27	
(71)(73) Заявитель и патентовладелец: ЭНЕРДЖИ ДОУМ С.П.А. (IT)	
(72) Изобретатель: Спадачини Клаудио (IT)	
(74) Представитель: Харин А.В., Стойко Г.В., Галухина Д.В., Алексеев В.В., Буре Н.Н. (RU)	

(57) Установка (1) хранения энергии содержит кожух (5) для хранения рабочей текучей среды, отличной от атмосферного воздуха, в газовой фазе и в состоянии равновесия давления с атмосферой; резервуар (9) для хранения указанной рабочей текучей среды в жидкой или сверхкритической фазе с температурой, близкой к критической температуре; причем указанная критическая температура близка к температуре окружающей среды. Установка (1) выполнена с возможностью выполнения замкнутого циклического термодинамического преобразования (ТТС), сначала в одном направлении в конфигурации зарядки, а затем в противоположном направлении в конфигурации разрядки, между указанным кожухом (5) и указанным резервуаром (9); при этом в конфигурации зарядки установка (1) хранит тепло и давление, а в конфигурации разрядки генерирует энергию.

B1

042233

042233

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Объектом изобретения является установка и способ хранения электрической энергии. Более конкретно, объектом изобретения является система, выполненная с возможностью поглощать/использовать электрическую энергию из сети или системы, когда проявляется избыток доступности и/или дефицит потребления, поддерживать во времени хранимую энергию и преобразовывать ее обратно в электрическую энергию и возвращать ее в сеть, когда указанная электрическая энергия потребуется. Более подробно, данное изобретение относится к системе хранения электрической энергии в форме потенциальной энергии (давления) и тепловой/термодинамической энергии. Изобретение является частью средних и крупных систем хранения энергии как для наземных, так и для морских применений, обычно мощностью от сотен кВт до десятков МВт (например, 20-25 МВт), но также и сотен МВт, и с емкостью хранения от нескольких сотен кВт·ч, до сотен МВт·ч и даже до нескольких ГВт·ч. Изобретение также может быть использовано в области маломасштабных систем хранения энергии для бытовых и коммерческих применений как наземных, так и морских, обычно с мощностью от нескольких кВт до нескольких сотен кВт и с емкостью хранения от нескольких кВт·ч до сотен кВт·ч.

Определения

Следующие определения будут использоваться в настоящем описании и в прилагаемой формуле изобретения.

Термодинамический цикл (СТ): термодинамическое преобразование из точки X в точку Y, где X совпадает с Y; СТ, в отличие от ТТС (термодинамическое циклическое преобразование), которое раскрыто ниже, не имеет накопленной массы (значимых для энергетических целей) в рамках цикла, в то время как ТТС обычно работает между двумя хранилищами рабочей текучей среды, одним начальным и другим конечным.

Термодинамическое циклическое преобразование (ТТС): термодинамическое преобразование из точки X в точку Y и из точки Y в точку X, не обязательно с прохождением через одни и те же промежуточные точки.

Замкнутый/ое СТ и/или ТТС: без массообмена (важного для энергетических целей) с атмосферой.

Открытый/ое СТ и/или ТТС: с массообменом (важным для энергетических целей) с атмосферой.

Уровень техники

В последнее время в связи с постоянно растущим распространением систем для производства энергии из возобновляемых источников, в частности из ветряных и фотоэлектрических источников, которые характеризуются изменчивостью и непредсказуемостью производства, все большее значение приобретают системы хранения электрической энергии.

Системы хранения электрической энергии могут выполнять различные основные функции для сетей как изолированных, так и взаимосвязанных, включая регулировку частоты/подачу динамической инерции, питание систем "гибкого линейного изменения", т. е. позволяющих запускать резервные системы производства, "энергетический сдвиг" от часов с большим производством и меньшим спросом к часам, которые, с другой стороны, представляют большой спрос и/или отсутствие производства, сезонные компенсации и т. д.

В дополнение к системам, которые функционируют в соответствии с электрохимическими принципами (батареи), которые обычно имеют высокую стоимость и ограниченный срок службы, механическим (маховик), подходящим только для небольших количеств хранимой энергии, системы, используемые в настоящее время или разрабатываемые или известные иным образом, включают следующее.

В основном используемые системы - это гидроэлектрические гидроаккумулирующие системы (ЗАКАЧИВАЕМЫЕ ГИДРОХРАНИЛИЩА - PHS), которые в настоящее время покрывают более 90% мощностей установленных в мире хранилищ. Эти системы подходят как для длительного, так и для краткосрочного хранения, вполне конкурентоспособны с точки зрения затрат, но имеют недостаток, заключающийся в том, что их можно строить только в местах с особыми геоморфологическими условиями. Упомянутая система PHS может быть причислена к системам хранения энергии в потенциальной форме и, в частности, гравитационной. Также в семействе гравитационных систем находится система, раскрытая в документе GB 2518125 A.

Вторая используемая система - это так называемая система CAES (хранилище энергии в форме сжатого воздуха), которая состоит из открытого ТТС, а накопление происходит путем преобразования в потенциальную энергию (давление) и (возможно) тепловую энергию. Эта система CAES известна как в базовой (неадиабатической) конфигурации, так и в более продвинутой конфигурации AA-CAES (продвинутое адиабатическое CAES; см. US 4,147,205 - Установка для хранения сжатого воздуха). Эти системы подходят как для долгосрочного, так и для краткосрочного хранения, вполне конкурентоспособны с точки зрения затрат, менее эффективны, чем системы PHS, с точки зрения "эффективности преобразования энергии туда и обратно", а также имеют тот недостаток, что их можно устанавливать только в местах с определенными геоморфологическими условиями.

Системы CAES также имеют дополнительный недостаток, заключающийся в том, что давление в резервуаре/камере зависит от уровня зарядки. Это влияет как на эффективность ТТС, так и на эффектив-

ность турбомашин, которые его выполняют.

Также известны системы, которые возмещают отсутствие подземных камер для систем CAES. В частности, известны решения, которые стремятся сделать экономически целесообразным хранение энергии в наземных резервуарах без необходимости использования подземных камер. Примером может служить US2011/0204064 A1 LIGHTSAIL, где предлагаются резервуары специальной конструкции для того, чтобы попытаться сдержать затраты на наземные резервуары для хранения, которые, наоборот, сделают затраты на указанные наземные системы CAES нерентабельными. Эти решения также относятся к системам, функционирующим в соответствии с открытым ТТС.

Также известны системы, которые объединяют две предыдущие системы (см. US 7,663,255 B2), в которых комбинация CAES и PHS также позволяет системе CAES функционировать при постоянном давлении сжатия. Эти системы тоже работают в соответствии с открытым ТТС.

В документе "Новая концепция хранилища энергии в виде сжатого воздуха и хранилище термоэлектрической энергии" ("Novel concept of compressed air energy storage and thermos-electric energy storage" - THESE N.5525 (2012) - Ecole Polytechnique Federate de Lousanne), описаны все типы систем хранения энергии CAES. Среди прочего, описаны системы CAES адиабатические, изотермические и объединенные с PHS для обеспечения постоянного давления сжатия, эта система называется CAES с постоянным давлением, объединенная с PHS. Это тоже системы, работающие в соответствии с открытым ТТС.

В том же документе также раскрывается так называемое TEES (термоэлектрическое хранилище энергии), предложенное ABB Corporate Research Center (см. также EP 2532843 A1 и EP 2698506 A1). Это одна из систем, работающих в соответствии с замкнутым СТ, и ее можно причислить к системам PHES. Системы PHES (закачиваемые хранилища тепла/электричества) представляют собой системы для хранения электрической/механической энергии путем ее преобразования в тепловую энергию с использованием, например, термодинамического цикла Ренкина, Брайтона или Калины.

В дополнение к описанным выше системам, в которых используются транскритические и сверхкритические циклы CO₂ или другие циклы текучей среды и, следовательно, известны обратимые транс-сверх-критические циклы Ренкина, системы PHES с циклом Брайтона, обычно использующие аргон, но также и воздух (см. Isoentropic EP 2220343 B1 и US 2010/0257862 A1 и Laughlin US 2016/0298455 A1. Это одна из систем, работающих в соответствии с замкнутым СТ, и ее можно причислить к системам PHES).

Другой системой, которую можно отнести к системам PHES/TEES, является система Siemens-Gamesa (см. US 2014/0223910 A1 и US 8,991,183 B2 и US 8,966,902 B2), которая объединяет два разных цикла для фазы зарядки и разрядки и, в частности, обеспечивает цикл Брайтона или простого рассеяния с электрическими сопротивлениями для фазы зарядки высокотемпературного резервуара для хранения тепла и паровой цикл Ренкина для фазы разрядки/выработки электрической энергии. Этот тип решения является одной из систем PHES. Оно осуществляется с помощью нескольких открытых и/или замкнутых СТ.

Следует отметить, что все системы PHES, также называемые TEES, основаны на принципе "замкнутого" и обратимого термодинамического цикла. В зависимости от различных предлагаемых решений они могут быть "замкнутыми" циклами Ренкина или Брайтона, но в любом случае рабочая текучая среда двигателя/теплого насоса, которая является почти обратимой, выполняет преобразования в соответствии с "замкнутым" термодинамическим циклом, в котором отсутствуют промежуточные накопления, размер которых соответствует требуемой емкости хранилища.

Вместо этого все системы CAES всех типов представляют собой системы, которые осуществляют преобразования сначала в одном направлении, а затем в другом в соответствии с "открытым" термодинамическим циклом, то есть забирают и возвращают воздух в атмосферу.

Другой известный способ хранения энергии - это так называемая система LAES (хранилище энергии в виде жидкого воздуха, см. US2009/0282840 A1). Способ LAES включает в себя преобразования в соответствии с "открытым" термодинамическим преобразованием, то есть забирание и возвращение воздуха в атмосферу. Кроме того, эта система работает при криогенных температурах, близких к -200°C, с большими техническими трудностями. Это тоже относится к системам, которые работают в соответствии с открытым ТТС.

В "Анализе эксергетической эффективности сверхкритической системы хранения энергии в виде сжатого углекислого газа на основе ортогонального метода" ("Analysis of the exergy efficiency of a supercritical compressed carbon dioxide energy-storage system based on the orthogonal method", Qing He, Yinping Hao, Hui Liu, Wenyi Liu) было также предложено использование CO₂ в качестве рабочей текучей среды для систем хранения энергии. Предлагаемая система (называемая SC-CCES (хранилище энергии в виде сжатого - сверхкритического углекислого газа) использует, как указано, "два солевых водоносных горизонта в качестве резервуаров для хранения". В этой системе SC-CCES CO₂ от компрессора направляется непосредственно в резервуар без использования какого-либо теплообменника и/или системы хранения тепловой энергии. Более того, во время цикла разрядки CO₂, выпущенный из турбины, нагревает через рекуператор тот же CO₂, поступающий в турбину. Это решение относится к системам, которые работают по замкнутому ТТС, то есть между двумя закрытыми резервуарами.

Также документ "Хранение зеленой энергии: "Потенциальное использование сжатого жидкого CO₂ и больших подземных полостей для поддержания постоянного электроснабжения" - доклады Далгаарда Дж. З. ("The Potential Use of compressed Liquid CO₂ and Large Sub-Terrain Cavities to Help Maintain a Constant Electricity Supply" - Dalgaard JZ) (как в заголовке, так и в аннотации, и в теле документа) об использовании CO₂ в подземных полостях.

Раскрытие сущности изобретения.

Заявитель указал, что существующие системы хранения электрической энергии не обладают характеристиками, позволяющими экономно использовать их в различных ситуациях.

В частности, в некоторых случаях (например, PHS и CAES) системы требуют очень специфических геоморфологических ситуаций, которые трудно найти. В некоторых случаях (например, PHS) внедрение таких систем требует изготовления резервуаров с сильным воздействием на окружающую среду.

В других случаях (AA-CAES) реализация систем хранения тепловой энергии представляет собой проблемы, которые трудно решить с низкими затратами, и, более того, все еще существует необходимость в определении подходящих подземных камер. Вышеупомянутое также приводит к трудностям в достижении удовлетворительной эффективности преобразования энергии туда и обратно (RTE). В любом случае проблема работы с переменным давлением в резервуаре-хранилище остается, если только система

CAES не объединена с системой PHS, что сопряжено с очевидными дополнительными затратами и необходимостью определения правильных геологических условий.

Заявитель также заметил, что попытки построить наземные системы CAES натолкнулись на практическую невозможность строительства резервуаров для хранения сжатого воздуха по конкурентоспособной цене, чтобы можно было построить сами системы.

Заявитель также заметил, что попытки построить системы LAES в настоящий момент не позволили разработать экономически жизнеспособные системы также из-за проблем, присущих работе в криогенных условиях. Проблемы хранения криогенной энергии в двухслойных резервуарах с вакуумом между слоями и других дорогостоящих устройствах затрудняют оптимизацию технологии с точки зрения затрат.

Заявитель также заметил, что попытки построить системы PHES с почти обратимыми циклами Ренкина представляют значительные трудности в достижении удовлетворительной эффективности преобразования энергии туда и обратно (RTE) (т. е. выше 60%) и в то же время с разумными затратами, где RTE привязана к разнице температур в оборудовании.

Точно так же системы PHES, основанные на цикле Брайтона, должны иметь дело с тем фактом, что эти системы используют компрессор и турбину для каждого цикла, как для зарядки, так и для разрядки. Это влечет за собой более высокие инвестиционные затраты, но также и большую необратимость, которую можно компенсировать для получения высоких значений ТЕН только за счет поддержания очень высокой разницы температур между горячим и холодным хранилищем.

В этом контексте заявитель поставил перед собой задачу разработать и внедрить способ и установку хранения энергии, т. е. систему хранения энергии, которая:

может быть реализована в различных геоморфологических ситуациях, которые не требуют конкретных географических или территориальных условий, и в конечном итоге может быть использована в определенных размерах для морских/прибрежных применений;

может получать высокую RTE и в любом случае выше 70% и до 75% и даже до 80% и более;

может работать с регулируемым давлением в резервуаре для хранения с помощью различных систем, описанных ниже;

является простой и экономичной, желательно с целью иметь стоимость строительства менее 100 долларов США/кВт·ч и, в частности, обеспечивает хранение под давлением и с высокой плотностью энергии (с точки зрения хранения/хранилища/хранимый кВт·ч);

имеет возможность увеличения RTE за счет использования изменений температуры окружающей среды;

является безопасной и экологически щадящей, например, не использует особо опасные текучие среды;

является модульной;

является компактной;

имеет длительный срок службы или увеличенный срок полезного использования до 30 лет;

является гибкой и быстро вводится в эксплуатацию;

легко и экономично обслуживается;

устойчива к коррозии (особенно для морского применения);

имеет низкий уровень вибрации и шума.

Заявитель обнаружил, что вышеуказанные и другие задачи могут быть решены с помощью системы хранения энергии, функционирующей посредством термодинамических циклических преобразований (ТТС), сначала в одном направлении, а затем в противоположном направлении между двумя скопления-

ми рабочей текучей среды в двух различных резервуарах, одно из которых (с самым низким давлением) является атмосферным, но это не атмосферный воздух, а другой газ в состоянии равновесия давления с атмосферой. Эта система также отличается тем, что она хранит энергию, преобразовывая рабочую текучую среду из начального газообразного/парового состояния в конечное жидкое или сверхкритическое состояние с температурой, близкой к критической (например, менее чем в 1,2 раза превышающей критическую температуру в градусах Кельвина, предпочтительно от 0,5 до 1,2 раз). Он также отличается тем, что эта критическая температура предпочтительно находится недалеко от температуры окружающей среды, предпочтительно близка к температуре окружающей среды (предпочтительно составляет от 0°C до 200°C, более предпочтительно от 0°C до 100°C).

Рабочая текучая среда предпочтительно представляет собой диоксид углерода (CO₂), но для улучшения характеристик системы, в том числе в отношении конкретных условий окружающей среды, в которых она работает, может быть использована смесь CO₂ и других веществ, чтобы скорректировать критическую температуру T_c текучей среды. Могут использоваться другие текучие среды, такие как SF₆, N₂O и т. д., всегда чистые или смешанные с другими.

В системе, предлагаемой в данном изобретении, присутствует хранилище тепла, извлеченного от нагнетания компрессора. Резервуары как высокого, так и низкого давления работают при постоянном давлении или, в любом случае, отрегулированном в определенных четко заданных "диапазонах", как когда система функционирует в докритических, так и в сверхкритических условиях, возможно, с разными стратегиями управления.

В частности, заявленные и другие задачи по существу достигаются с помощью установки и способа хранения энергии типа, заявленного в прилагаемой формуле изобретения и/или описанного в следующих аспектах.

В независимом аспекте настоящее изобретение касается установки хранения энергии (системы хранения энергии).

Установка предпочтительно содержит:

кожух для хранения рабочей текучей среды, отличной от атмосферного воздуха, в газовой фазе и в состоянии равновесия давления с атмосферой;

резервуар для хранения указанной рабочей текучей среды в жидкой или сверхкритической фазе с температурой, близкой к критической температуре (например, менее чем в 1,2 раза превышающей критическую температуру в 0,5-1,2 Кельвина); причем указанная критическая температура составляет от 0°C до 200°C, более предпочтительно от 0°C до 100°C, предпочтительно близка к температуре окружающей среды;

причем установка выполнена с возможностью выполнения замкнутого циклического термодинамического преобразования (ТТС), сначала в одном направлении в конфигурации/фазе зарядки, а затем в противоположном направлении в конфигурации/фазе разрядки между указанным корпусом и указанным резервуаром; при этом в конфигурации зарядки система накапливает тепло и давление, а в конфигурации разрядки она генерирует энергию.

Предпочтительно рабочая текучая среда имеет следующие химико-физические свойства: критическая температура от 0°C до 100°C, плотность при 25°C от 0,5 до 10 кг/м³, предпочтительно от 1 до 2 кг/м³.

Предпочтительно рабочая текучая среда выбрана из группы, включающей в себя: CO₂, SF₆, N₂O или их смесь, или даже их смесь с другими компонентами, которые действуют как добавки, например, в основном для изменения параметров критической температуры полученной смеси, чтобы оптимизировать функционирование системы.

Предпочтительно установка хранения энергии содержит:

компрессор и двигатель, механически соединенные друг с другом;

турбину и генератор, механически соединенные друг с другом;

причем указанный кожух снаружи находится в контакте с атмосферой и ограничивает внутри объем, предназначенный для содержания рабочей текучей среды при атмосферном давлении или по существу атмосферном давлении, причем указанный объем избирательно сообщается с впуском компрессора или с выпуском турбины;

первичный теплообменник (или даже множество первичных теплообменников, которые также могут работать с различными текучими средами на своей вторичной стороне), избирательно сообщающийся по текучей среде с выпуском компрессора или с впуском турбины;

причем указанный резервуар сообщается по текучей среде с первичным теплообменником для накопления рабочей текучей среды;

вторичный теплообменник, функционирующий между первичным теплообменником и резервуаром или в резервуаре.

Данная установка выполнена с возможностью функционирования в конфигурации зарядки или разрядки.

В конфигурации зарядки кожух сообщается по текучей среде с впуском компрессора, а первичный

теплообменник сообщается по текучей среде с выпуском компрессора, турбина находится в состоянии покоя, двигатель функционирует и приводит в действие компрессор для сжатия рабочей текучей среды, поступающей из кожуха, первичный теплообменник работает как охладитель для отвода тепла от сжатой рабочей текучей среды, ее охлаждения и хранения тепловой энергии, вторичный теплообменник работает как охладитель для отвода дополнительного тепла от сжатой рабочей текучей среды и хранения дополнительной тепловой энергии, резервуар принимает и хранит сжатую и охлажденную рабочую текучую среду, причем рабочая текучая среда, хранящаяся в резервуаре, имеет температуру, близкую к ее собственной критической температуре (например, от 0,5 до 1,2 критической температуры в Кельвинах).

В конфигурации разрядки кожух сообщается по текучей среде с выпуском турбины, а первичный теплообменник сообщается по текучей среде с впуском турбины, компрессор находится в состоянии покоя, вторичный теплообменник работает как нагреватель для передачи тепла от рабочей текучей среды, поступающей из резервуара, первичный теплообменник работает как нагреватель для передачи дополнительного тепла рабочей текучей среде и ее нагрева, турбина вращается нагретой рабочей текучей средой и приводит в действие генератор, генерирующий энергию, давление рабочей текучей среды возвращается в кожухе до атмосферного давления или по существу атмосферного давления.

В независимом аспекте настоящее изобретение относится к способу хранения энергии, опционально осуществляемому посредством установки согласно предыдущему аспекту или согласно по меньшей мере одному из следующих аспектов.

Предпочтительно способ содержит: выполнение замкнутого термодинамического циклического преобразования (ТТС), сначала в одном направлении в конфигурации/фазе зарядки, а затем в противоположном направлении в конфигурации/фазе разрядки, между кожухом для хранения рабочей текучей среды, отличной от атмосферного воздуха, в газовой фазе и в состоянии равновесия давления с атмосферой, и резервуаром для хранения указанной рабочей текучей среды в жидкой или сверхкритической фазе с температурой, близкой к критической температуре (например, между 0,5 и 1,2 критической температуры в Кельвинах); причем указанная критическая температура близка к температуре окружающей среды, предпочтительно составляет от 0°C до 100°C, но также до 200°C; при этом способ используют для накопления тепла и давления в фазе зарядки и генерирования энергии в фазе разрядки.

Предпочтительно указанная рабочая текучая среда имеет следующие химико-физические свойства: критическая температура от 0°C до 200°C, более предпочтительно от 0°C до 100°C, предпочтительно близка к температуре окружающей среды.

Предпочтительно рабочая текучая среда выбрана из группы, включающей в себя: CO₂, SF₆, N₂O или их смесь, или даже их смесь с другими компонентами, которые действуют как добавки, например, в основном для изменения параметров критической температуры полученной смеси, чтобы оптимизировать функционирование системы.

Предпочтительно способ содержит фазу зарядки энергии и фазу разрядки и генерирования энергии.

Фаза зарядки содержит:

сжатие рабочей текучей среды, поступающей из указанного кожуха, снаружи находящегося в контакте с атмосферой и ограничивающего внутри объем, предназначенный для содержания указанной рабочей текучей среды при атмосферном давлении или по существу атмосферном давлении, с поглощением энергии;

нагнетание сжатой рабочей текучей среды через первичный теплообменник (или даже множество первичных теплообменников, в конечном итоге работающих с разными текучими средами на их вторичной стороне) и вторичный теплообменник, расположенные последовательно, для доведения температуры рабочей текучей среды близко к ее собственной критической температуре; причем первичный теплообменник работает как охладитель для отвода тепла от сжатой рабочей текучей среды, ее охлаждения и хранения тепловой энергии, при этом вторичный теплообменник работает как охладитель для отвода дополнительного тепла от сжатой рабочей текучей среды и хранения дополнительной тепловой энергии;

накопление охлажденной рабочей текучей среды в указанном резервуаре; причем вторичный теплообменник и первичный теплообменник осуществляют сверхкритическое преобразование рабочей текучей среды, так что указанная рабочая текучая среда накапливается в сверхкритической фазе в резервуаре, или вторичный теплообменник и первичный теплообменник осуществляют докритическое преобразование рабочей текучей среды, так что указанная рабочая текучая среда накапливается в жидкой фазе в резервуаре (предпочтительно также с целью регулирования давления до относительно минимального/низкого значения).

Фаза разрядки и генерирования электроэнергии содержит:

пропускание рабочей текучей среды, поступающей из резервуара, через вторичный теплообменник и первичный теплообменник; причем вторичный теплообменник работает как нагреватель для передачи тепла рабочей текучей среде, поступающей из резервуара (предпочтительно также с целью регулирования давления до относительно высокого/максимального значения), причем первичный теплообменник работает как нагреватель для передачи дополнительного тепла рабочей текучей среде и ее нагрева;

пропускание нагретой рабочей текучей среды через турбину, причем турбина вращается нагретой

рабочей текучей средой и приводит в действие генератор, генерирующий энергию, причем рабочая текучая среда расширяется и охлаждается в турбине;

повторное нагнетание рабочей текучей среды из турбины в кожух при атмосферном или по существу атмосферном давлении.

Заявитель подтвердил, что способ и устройство согласно изобретению позволяют выполнить поставленные задачи.

В частности, заявитель подтвердил, что изобретение позволяет хранить энергию в местах без особых геоморфологических характеристик, даже для морских/прибрежных применений, безопасным образом и с низким воздействием на окружающую среду.

Заявитель также подтвердил, что изготовление и последующее обслуживание устройства согласно изобретению являются относительно недорогими.

Заявитель также подтвердил, что изобретение позволяет достичь высокой RTE.

Заявитель также подтвердил, что изобретение позволяет управлять хранением энергии с возможностью регулирования давления в резервуарах для хранения, таким образом обеспечивая лучшую работоспособность системы, большую эффективность как турбомашин, так и системы с точки зрения RTE.

Аспекты изобретения перечислены ниже.

В одном аспекте первичный теплообменник является или функционально соединен с хранилищем тепла (хранилищем тепловой энергии - TES).

В одном аспекте между кожухом и впуском компрессора и между кожухом и выпуском турбины проходят первые трубопроводы для соединения кожуха для текучей среды с компрессором и турбиной.

В одном аспекте на указанных первых трубопроводах функционально размещен по меньшей мере один клапан для соединения текучей среды поочередно с кожухом компрессора или турбины с кожухом.

В одном аспекте между впуском турбины и первичным теплообменником и между выпуском компрессора и первичным теплообменником проходят вторые трубопроводы для обеспечения сообщения по текучей среде указанного первичного теплообменника с указанными компрессором и турбиной.

В одном аспекте на указанных вторых трубопроводах функционально размещен по меньшей мере один клапан для обеспечения сообщения по текучей среде компрессора с первичным теплообменником или первичного теплообменника с турбиной.

В одном аспекте между первичным теплообменником и вторичным теплообменником проходят третьи трубопроводы для обеспечения сообщения по текучей среде первичного теплообменника с вторичным теплообменником.

В одном аспекте, между кожухом и компрессором и между кожухом и турбиной функционально размещен дополнительный теплообменник для предварительного нагрева рабочей текучей среды перед сжатием в компрессоре в конфигурации зарядки или для охлаждения рабочей текучей среды, поступающей из турбины, в конфигурации разрядки.

В одном аспекте дополнительный теплообменник функционально связан с первыми трубопроводами.

В одном аспекте дополнительный теплообменник содержит дополнительное устройство хранения тепловой энергии.

В одном аспекте в конфигурации зарядки дополнительный теплообменник работает как нагреватель для предварительного нагрева рабочей текучей среды.

В одном аспекте в конфигурации разрядки дополнительный теплообменник работает как охладитель для охлаждения рабочей текучей среды и хранения дополнительной тепловой энергии, которая используется в конфигурации зарядки для предварительного нагрева указанной рабочей текучей среды.

В одном аспекте охладитель размещен на ответвлении первых трубопроводов, соединенных с выпуском турбины.

В одном аспекте между турбиной и первичным теплообменником функционально размещен дополнительный теплообменник, функционально связанный с дополнительным источником тепла, и выполнен с возможностью дополнительного нагрева рабочей текучей среды в фазе разрядки перед поступлением в турбину.

В одном аспекте в конфигурации разрядки дополнительный источник тепла обеспечивает дополнительное тепло для рабочей текучей среды.

В одном аспекте в фазе разрядки и генерирования энергии между первичным теплообменником и турбиной предусмотрен дополнительный нагрев рабочей текучей среды с помощью дополнительного источника тепла.

В одном аспекте дополнительным источником тепла является: солнечный источник (например, солнечное поле) и/или регенерация тепла из промышленных отходов (регенерация отходящего тепла) и/или тепло выхлопных газов газовых турбин (GT).

В одном аспекте температура, к которой рабочая текучая среда приводится в фазе разрядки и непосредственно перед поступлением в турбину, через дополнительный источник тепла и дополнительный теплообменник, выше, чем температура рабочей текучей среды в конце сжатия во время фазы зарядки.

В одном аспекте температура, к которой рабочая текучая среда приводится через дополнительный

источник тепла и дополнительный теплообменник, больше примерно на 100°C, но также на 200°C, 300°C или 400°C по сравнению с температурой рабочей текучей среды в конце сжатия.

Заявитель подтвердил, что дальнейший нагрев рабочей текучей среды дополнительным источником тепла позволяет значительно повысить эффективность преобразования энергии туда и обратно (RTE).

В одном аспекте кожух является деформируемым.

В одном аспекте кожух имеет конструкцию газометра.

В одном аспекте кожух представляет собой баллон высокого давления.

В одном аспекте кожух изготовлен из гибкого материала, предпочтительно из пластика, например полиэфирной ткани с покрытием из ПВХ.

В одном аспекте двигатель и генератор являются отдельными элементами, причем двигатель предпочтительно постоянно соединен с компрессором, а генератор предпочтительно постоянно соединен с турбиной.

В одном аспекте двигатель и генератор образованы одним двигателем-генератором.

В одном аспекте установка содержит соединительные устройства, предпочтительно муфтового типа, между мотор-генератором и компрессором, а также между мотор-генератором и турбиной для механического и попеременного соединения мотор-генератора с компрессором или турбиной.

В одном аспекте мотор-генератор, компрессор и турбина расположены на одной оси.

В одном аспекте сжатие рабочей текучей среды в компрессоре является адиабатическим, с промежуточным охлаждением или изотермическим.

В одном аспекте расширение рабочей текучей среды в турбине является адиабатическим, с промежуточным нагревом или изотермическим.

В одном аспекте с компрессором и турбиной соединено вспомогательное хранилище тепла (хранилище тепловой энергии TES).

В одном аспекте вспомогательное хранилище тепла предназначено для осуществления, в компрессоре и во время фазы зарядки, сжатия с промежуточным охлаждением с одним или несколькими промежуточными охлаждениями.

В одном аспекте вспомогательный тепловой аккумулятор выполнен с возможностью выполнять в турбине и во время фазы разрядки расширение с промежуточным нагреванием с одним или несколькими промежуточными нагреваниями.

В одном аспекте предусмотрено выполнение множества промежуточных охлаждений в фазе зарядки и выполнение меньшего количества промежуточных нагреваний, чем количество промежуточных охлаждений, с использованием тепла (накопленного во вспомогательном тепловом аккумуляторе) только части промежуточных охлаждений.

В одном аспекте предусмотрено выполнение множества промежуточных охлаждений в фазе зарядки и выполнение единственного промежуточного нагревания в фазе разрядки с использованием тепла (накопленного во вспомогательном тепловом аккумуляторе) только последнего промежуточного охлаждения.

Заявитель подтвердил, что сочетание дальнейшего нагрева рабочей текучей среды дополнительным источником тепла вместе с промежуточными охлаждениями и вышеупомянутыми промежуточными нагреваниями позволяет увеличить эффективность преобразования энергии туда и обратно (RTE) до значений, превышающих 100%.

В одном аспекте первичный теплообменник представляет собой или содержит регенератор тепла с неподвижным или подвижным слоем.

В одном аспекте регенератор тепла с неподвижным или подвижным слоем содержит по меньшей мере одну тепловую массу, которая перекрывается рабочей текучей средой.

В одном аспекте регенератор тепла с неподвижным или подвижным слоем содержит по меньшей мере одну тепловую массу, которая не перекрывается рабочей текучей средой, но которая отделена от нее стенкой, обычно сделанной из металла, которая выполнена с возможностью выдерживать давление, и, следовательно, масса находится при атмосферном давлении.

В одном аспекте тепловая масса содержит некогерентный материал, опционально гравий или металлические или керамические шарики.

В одном аспекте тепловая масса содержит когерентный материал, опционально цемент, керамику или металл.

В одном аспекте первичный теплообменник содержит первичный контур, через который проходит первичная текучая среда, или несколько первичных контуров, через которые проходит несколько первичных текучих сред, опционально вода, масло или соли.

В одном аспекте первичный контур содержит теплообменный участок, предназначенный для обмена теплом с рабочей текучей средой.

В одном аспекте первичный контур содержит по меньшей мере одну первичную камеру хранения, предпочтительно две камеры хранения, для указанной первичной текучей среды.

В одном аспекте первичный контур содержит первичную камеру горячего хранения для горячей

первичной текучей среды, накопленной после отвода тепла от рабочей текучей среды в конфигурации/фазе зарядки устройства/способа, и первичную камеру холодного хранения для холодной первичной текучей среды, накопленной после передачи тепла рабочей текучей среде в конфигурации/фазе разрядки устройства/способа.

В одном аспекте первичный контур содержит регенератор тепла с неподвижным слоем, предпочтительно функционирующий при атмосферном давлении, который перекрывается первичной текучей средой.

В одном аспекте вторичный теплообменник содержит вторичный контур, через который проходит вторичная текучая среда, опционально воздух или вода.

В одном аспекте вторичный контур содержит теплообменный участок, предназначенный для перекрытия рабочей текучей средой.

В одном аспекте вторичный контур содержит по меньшей мере одну вторичную камеру хранения для этой вторичной текучей среды.

В одном аспекте вторичный контур содержит вторичную камеру горячего хранения для горячей вторичной текучей среды, накопленной после отвода тепла от рабочей текучей среды в конфигурации/фазе зарядки устройства/способа, и вторичную камеру холодного хранения для холодной вторичной текучей среды, накопленной после передачи тепла рабочей текучей среде в конфигурации/фазе разрядки устройства/способа.

В одном аспекте вторичный теплообменник расположен между первичным теплообменником и указанным резервуаром.

В одном аспекте вторичный теплообменник интегрирован в резервуар.

В одном аспекте вторичный теплообменник оборудован системами для регулирования расхода и/или температуры вторичной текучей среды, обычно воды или воздуха, выполненными с возможностью регулировать давление в резервуарах для хранения в определенных пределах, когда система функционирует в субкритических условиях.

Контроль температуры может осуществляться путем добавления тепла из атмосферы или отвода тепла в атмосферу, а также за счет обычных колебаний окружающей температуры воздуха и воды в разное время дня.

В одном аспекте вторичный теплообменник размещен в водоеме с водой, состоящем из одной или двух камер. В указанном вторичном теплообменнике рабочая текучая среда конденсируется во время фазы зарядки и испаряется в фазе разрядки с помощью циркулирующей воды, предпочтительно с помощью погружных насосов. Две камеры указанного водоема могут быть покрыты или открыты и сообщаться или не сообщаться с окружающей средой, так что камера, из которой циркулирует вода для конденсации в фазе зарядки, всегда охлаждается окружающей средой, в то время как камера, из которой вода циркулирует для испарения в фазе разрядки, всегда нагревается окружающей средой и, возможно, сохраняется теплой за счет покрытия.

В одном аспекте вышеупомянутое может дополнительно поддерживаться специальными системами обмена, которые поглощают тепло или выделяют тепло путем конвекции или излучения с окружающей средой, и все это для улучшения RTE системы. Таким образом выполняется регулировка давления, когда система функционирует в субкритических условиях.

В одном аспекте теплообменный участок вторичного теплообменника размещен внутри резервуара.

В одном аспекте вторичный контур предназначен для отвода тепла от рабочей текучей среды в конфигурации зарядки или для передачи тепла рабочей текучей среде в конфигурации разрядки при температуре ниже 100°C, опционально между 0°C и 50°C, опционально при температуре, близкой к температуре окружающей среды.

В одном аспекте, в конфигурации/фазе зарядки, поскольку вторичный теплообменник работает в условиях, близких к температуре окружающей среды, из-за того, что текучая среда имеет критическую температуру, близкую к температуре окружающей среды, возможно, что фаза отвода тепла через вторичный теплообменник поддерживается фазой прямого или косвенного обмена с атмосферой.

В одном аспекте, в конфигурации/фазе разрядки, поскольку вторичный теплообменник работает в условиях, близких к температуре окружающей среды, из-за того, что текучая среда имеет критическую температуру, близкую к температуре окружающей среды, возможно, что фаза подачи тепла через вторичный теплообменник поддерживается фазой прямого или косвенного обмена с атмосферой.

В одном аспекте резервуар является сферическим или по существу сферическим.

В одном аспекте резервуар является цилиндрическим или по существу цилиндрическим.

В одном аспекте внешняя стенка резервуара изготовлена из металла.

В одном аспекте температура рабочей текучей среды, накопленной в резервуаре, составляет от 0°C до 100°C.

В одном аспекте давление рабочей текучей среды, накопленной в резервуаре, составляет от 10 бар до 150 бар, предпочтительно от 10 до 150 бар, предпочтительно от 50 до 100 бар, предпочтительно от 65 до 85 бар.

В одном аспекте отношение между плотностью рабочей текучей среды, когда она содержится в резервуаре, и плотностью рабочей текучей среды, когда она содержится в кожухе, составляет от 200 до 500.

В одном аспекте вторичный теплообменник и первичный теплообменник предназначены для осуществления сверхкритического преобразования рабочей текучей среды, так что указанная рабочая текучая среда накапливается в резервуаре в сверхкритической фазе.

В одном аспекте предусмотрен отвод тепла от рабочей текучей среды в первичном теплообменнике до тех пор, пока она не будет доведена на диаграмме T-S до температуры выше критической температуры и выше колокола Эндрюса.

В одном аспекте предусмотрен отвод тепла от рабочей текучей среды во вторичном теплообменнике путем ее перевода в сверхкритическую фазу и обеспечения ее следования за правой частью колокола Эндрюса.

В одном аспекте резервуар содержит разделительную мембрану, предназначенную для внутреннего разделения резервуара на первую камеру с переменным объемом для рабочей текучей среды в сверхкритической фазе и вторую камеру с переменным объемом, сообщающуюся по текучей среде с компенсационным контуром, содержащим несжимаемую текучую среду, опционально воду.

В одном аспекте компенсационный контур предназначен для поддержания по существу постоянного давления в сверхкритической рабочей текучей среде, содержащейся в первой камере переменного объема резервуара, или по меньшей мере для поддержания давления рабочей текучей среды всегда выше определенного минимального значения.

В одном аспекте компенсационный контур содержит вспомогательный резервуар для несжимаемой текучей среды, опционально при атмосферном давлении, сообщающийся по текучей среде со второй камерой переменного объема.

В одном аспекте компенсационный контур содержит вспомогательную турбину, соединенную с вспомогательным генератором и предназначенную для вращения несжимаемой текучей средой, поступающей из второй камеры переменного объема в конфигурации/фазе зарядки устройства/способа.

В одном аспекте энергия расширения жидкости (обычно воды) компенсационного контура в фазе зарядки составляет от 1/100 до 7/100 энергии зарядки системы хранения через компрессор.

В одном аспекте компенсационный контур содержит насос, соединенный с вспомогательным двигателем и предназначенный для перекачивания несжимаемой текучей среды из вспомогательного резервуара во вторую камеру переменного объема в конфигурации/фазе разрядки устройства/способа.

В одном аспекте энергия перекачивания жидкости (обычно воды) из компенсационного контура в фазе разрядки составляет от 1/100 до 7/100 энергии разрядки системы хранения через турбину.

В одном аспекте вторичный теплообменник и первичный теплообменник предназначены для осуществления сверхкритического преобразования рабочей текучей среды, так что рабочая текучая среда накапливается в резервуаре в жидкой фазе.

В одном аспекте предусмотрен отвод тепла от рабочей текучей среды в первичном теплообменнике до ее приведения к температуре ниже критической температуры на диаграмме T-S и до точки в левой части колокола Эндрюса.

В одном аспекте предусмотрен отвод тепла от рабочей текучей среды во вторичном теплообменнике путем ее пропускания через зону насыщенного пара до достижения ей жидкой фазы.

Дополнительные признаки и преимущества будут более подробно раскрыты в подробном описании предпочтительных, но не ограничительных вариантов осуществления установки и способа хранения энергии согласно настоящему изобретению.

Краткое описание чертежей

Ниже описание будет изложено со ссылкой на прилагаемые чертежи, которые представлены для иллюстративных и неограничивающих целей, и на которых:

на фиг. 1 схематично показан вариант осуществления установки хранения энергии согласно настоящему изобретению;

на фиг. 2 показан вариант установки с фиг. 1;

на фиг. 3 показана диаграмма T-S, показывающая способ согласно настоящему изобретению, осуществляемый в установках с фиг. 1 или 2;

на фиг. 4 схематично показан вариант осуществления установки хранения энергии согласно настоящему изобретению;

на фиг. 5 показан вариант установки с фиг. 4;

на фиг. 6 показана диаграмма T-S, показывающая способ согласно настоящему изобретению, осуществляемый в установках с фиг. 4 или 5;

на фиг. 7 показана диаграмма T-Q, показывающая часть способа согласно настоящему изобретению, осуществляемого в установках с фиг. 4 или 5;

на фиг. 8, 9 и 10 показаны соответствующие варианты части установки с фиг. 2;

на фиг. 11 и 12 показаны соответствующие варианты другой части установки с фиг. 1, 2, 4 и 5;

на фиг. 13 показан другой вариант осуществления установки хранения энергии согласно настоящему изобретению.

Осуществление изобретения

Со ссылкой на прилагаемые чертежи, номером позиции 1 обозначена в целом установка хранения энергии (накопления энергии) согласно настоящему изобретению.

Например, установка 1 функционирует с рабочей текучей средой, отличной от атмосферного воздуха.

Например, установка 1 функционирует с рабочей текучей средой, выбранной из группы, включающей в себя: диоксид углерода CO_2 , гексафторид серы SF_6 , закись азота N_2O . В нижеследующем описании рабочая текучая среда, используемая в комбинации с описанной установкой 1, представляет собой диоксид углерода CO_2 .

Установка 1 предназначена для выполнения замкнутого циклического термодинамического преобразования (ТТС), сначала в одном направлении в конфигурации/фазе зарядки, а затем в противоположном направлении в конфигурации/фазе разрядки, при котором установка 1 хранит тепло и давление в конфигурации зарядки и генерирует электрическую энергию в конфигурации разрядки.

Как показано на фиг. 1, установка 1 содержит турбину 2 и компрессор 3, механически соединенные с валом одного мотор-генератора 4. Мотор-генератор 4, компрессор 3 и турбина 2 расположены на одной оси. Вал турбины 2 соединен с одним концом вала мотор-генератора 4 с помощью соединительных устройств, например, муфтового типа, которые обеспечивают возможность подсоединения и отсоединения, по команде, турбины 2 к мотор-генератору 4 и от него. Аналогичным образом вал компрессора 3 соединен с противоположным концом вала мотор-генератора 4 с помощью соединительных устройств, например муфтового типа, которые обеспечивают возможность подсоединения и отсоединения компрессора 3, по команде, к мотор-генератору 4 и от него. В других вариантах осуществления, не показанных здесь, двигатель жестко соединен с компрессором 3, а генератор жестко соединен с турбиной 2. В таком случае двигатель постоянно подключен к компрессору 3, а генератор постоянно подключен к турбине 2.

Установка 1 содержит кожух 5, предпочтительно выполненный в виде баллона высокого давления, изготовленного из гибкого материала, например полиэфирной ткани с покрытием из ПВХ. Баллон высокого давления расположен на поверхности земли и снаружи контактирует с атмосферным воздухом. Баллон высокого давления ограничивает объем, предназначенный для вмещения рабочей текучей среды при атмосферном давлении или по существу при атмосферном давлении, то есть в состоянии равновесия давления с атмосферой. Кожух 5 также может быть выполнен в виде газометра или любой другой системы хранения газа с низким или нулевым избыточным давлением.

Между кожухом 5 и впуском 3а компрессора 3 и между кожухом 5 и выпуском 2b турбины 2 проходят первые трубопроводы 6 для соединения внутреннего объема кожуха 5 с указанными компрессором 3 и турбиной 2. На первых трубопроводах 6 могут быть функционально размещены клапан или клапанная система, не изображенные на чертеже, чтобы поочередно обеспечивать сообщение по текучей среде кожуха 5 с впуском 3а компрессора 3 или выпуска 2b турбины 2 с кожухом 5.

Установка 1 содержит первичный теплообменник 7, который может выборочно обеспечивать сообщение по текучей среде с выпуском 3b компрессора 3 или с впуском 2а турбины 2. Для этого между впуском 2а турбины 2 и первичным теплообменником 7 и между выпуском 3b компрессора 3 и первичным теплообменником 7 проходят вторые трубопроводы 8. На вторых трубопроводах 8 функционально расположены клапан или клапанная система (не показаны) для соединения первичного теплообменника 7 с впуском 2а турбины 2 или выпуска 3b компрессора 3 с первичным теплообменником 7. В предпочтительном варианте осуществления на вторых трубопроводах 8 расположен только один клапан или клапанная система.

С первичным теплообменником 7 сообщается по текучей среде резервуар 9, выполненный с возможностью хранения рабочей текучей среды в жидкой или сверхкритической фазе.

Резервуар 9 предпочтительно выполнен из металла со сферической внешней стенкой.

Между первичным теплообменником 7 и резервуаром 9 или в указанном резервуаре 9 функционирует вторичный теплообменник 10, предназначенный для функционирования с рабочей текучей средой, накопленной или находящейся в фазе накопления в резервуаре 9. В соответствии с тем, что показано в варианте осуществления с фиг. 1, вторичный теплообменник 10 интегрирован в резервуар 9 в том смысле, что он имеет свой собственный теплообменный участок 11, расположенный внутри резервуара 9 и выполненный так, чтобы его касалась рабочая текучая среда, содержащаяся в указанном резервуаре 9. Между первичным теплообменником 7 и резервуаром 9 проходят третьи трубы 12 для обеспечения сообщения по текучей среде первичного теплообменника 7 с указанным резервуаром 9 и с вторичным теплообменником 10.

В схематическом представлении на фиг. 1 установка 1 может также содержать дополнительный теплообменник 13, функционально размещенный между кожухом 5 и компрессором 2 и между кожухом 5 и турбиной 2, и, возможно, охладитель 13а, расположенный на ответвлении первых трубопроводов 6, соединенных с выходом 2b турбины 2.

Установка 1 также содержит модуль управления, который не показан, функционально соединенный с различными элементами этой же установки 1 и конфигурированный/запрограммированный для управления ее работой.

Установка 1 предназначена для работы в конфигурации зарядки или в конфигурации разрядки или для выполнения способа, содержащего фазу зарядки энергии и фазу разрядки и генерирования энергии.

В конфигурации зарядки установка 1 запускается из первого состояния, в котором вся рабочая текучая среда (CO_2) в газообразной форме содержится в кожухе 5 при атмосферном давлении или по существу атмосферном давлении и при температуре по существу равной температуре окружающей среды (точка А на диаграмме Т-S на фиг. 3). Кожух 5 через клапанную систему соединен с выпуском 3а компрессора 3, а сообщение с выпуском 2b турбины 2 заблокировано. Дополнительно, посредством клапанной системы первичный теплообменник 7 сообщается по текучей среде с выпуском 3b компрессора 3, а сообщение с выпуском 2а турбины 2 заблокировано. Мотор-генератор 4 соединен только с компрессором 3 и отсоединен от турбины 2 (которая находится в состоянии покоя) и работает как двигатель для приведения в действие компрессора 3, например, сжимая рабочую текучую среду, поступающую из кожуха 5.

Перед входом в компрессор 3 рабочая текучая среда проходит через дополнительный теплообменник 13, который действует как нагреватель для предварительного нагрева рабочей текучей среды (точка В на диаграмме Т-S на фиг. 3). Затем рабочая текучая среда сжимается в компрессоре 3 и нагревается (точка С на диаграмме Т-S на фиг. 3). Затем рабочая текучая среда протекает через первичный теплообменник 7, который работает как охладитель для отвода тепла от сжатой рабочей текучей среды, ее охлаждения (точка D на диаграмме Т-S на фиг. 3) и хранения тепловой энергии, отведенной от рабочей текучей среды. В точке D рабочая текучая среда находится при температуре ниже критической температуры рабочей текучей среды и в точке на левой стороне колокола Эндрюса или немного за пределами колокола в условиях небольшого перегрева. Это сжатие может быть адиабатическим, с промежуточным охлаждением или изотермическим.

Рабочая текучая среда поступает в резервуар 9, где вторичный теплообменник 10, который в этой конфигурации работает как охладитель, отводит дополнительное тепло от рабочей текучей среды и накапливает дополнительную тепловую энергию. Рабочая текучая среда проходит через зону насыщенного пара, пока не достигнет жидкой фазы (точка Е на диаграмме Т-S на фиг. 3). Таким образом, резервуар 9 накапливает рабочую текучую среду в жидкой фазе при температуре ниже, чем ее собственная критическая температура T_c . В этом втором состоянии вся рабочая текучая среда (CO_2 , $T_c = 31^\circ\text{C}$) в жидкой форме, например при 20°C , содержится в резервуаре 9. Таким образом, вторичный теплообменник 10 и первичный теплообменник 9 предназначены для осуществления сверхкритического преобразования рабочей текучей среды, так что рабочая текучая среда накапливается в резервуаре 9 в жидкой фазе.

В конфигурации разрядки установка 1 запускается из второго состояния (точка F на диаграмме Т-S на фиг. 3). Кожух 5 через клапанную систему сообщается с выпуском 2b турбины 2, в то время как сообщение с выпуском 3а компрессора 3 заблокировано. Дополнительно, посредством клапанной системы первичный теплообменник 7 сообщается по текучей среде с выпуском 2а турбины 2, а сообщение с выпуском 3b компрессора 3 заблокировано. Мотор-генератор 4 соединен только с турбиной 2, отсоединен от компрессора 3 (который находится в состоянии покоя) и работает как генератор, приводимый во вращение турбиной 2, приводимой в действие расширяющейся рабочей текучей средой.

Вторичный теплообменник 10 работает как нагреватель и передает часть тепла, ранее накопленного в конфигурации зарядки, рабочей текучей среде в резервуаре 9. Рабочая текучая среда проходит через зону насыщенного пара, пока не достигнет паровой фазы (точка G на диаграмме Т-S на фиг. 3). Рабочая текучая среда проходит через первичный теплообменник 7, который теперь работает как нагреватель, и передает дополнительное тепло, ранее накопленное в конфигурации зарядки, рабочей текучей среде и нагревает ее (точка H на диаграмме Т-S на фиг. 3).

Нагретая рабочая текучая среда поступает в турбину 2, расширяется и охлаждается (точка I на диаграмме Т-S на фиг. 3) и вызывает вращение турбины 2. Турбина 2, вращаемая нагретой рабочей текучей средой, приводит в действие мотор-генератор 4, который работает как генератор и генерирует электрическую энергию. Расширение рабочей текучей среды в турбине может быть адиабатическим, с промежуточным нагревом или изотермическим.

Рабочая текучая среда, выходящая из турбины 2, охлаждается в дополнительном теплообменнике 13 (точка J на диаграмме Т-S на фиг. 3) и возвращается в кожух 5 при атмосферном или по существу атмосферном давлении. Дополнительный теплообменник 13 в этой фазе накапливает дополнительную тепловую энергию в соответствующем дополнительном хранилище тепловой энергии, которая будет использоваться в следующей фазе зарядки для предварительного нагрева рабочей текучей среды.

В преобразовании, показанном на фиг. 3, вторичный контур 20 выполнен с возможностью отвода тепла от рабочей текучей среды в конфигурации зарядки или для передачи тепла рабочей текучей среде в конфигурации разрядки при температуре, близкой к температуре окружающей среды, например, около 20°C .

В конфигурации/фазе как зарядки, так и разрядки, поскольку вторичный теплообменник 10 функционирует в условиях, близких к температуре окружающей среды, из-за того, что текучая среда имеет критическую температуру, близкую к температуре окружающей среды, возможно, что фаза отвода тепла и/или фаза подачи тепла посредством вторичного теплообменника поддерживается фазой прямого или

косвенного обмена с атмосферой.

Например, температура рабочей текучей среды (CO_2), накопленной в резервуаре 9, составляет 24°C , а давление рабочей текучей среды, накопленной в резервуаре 9, составляет 65 бар. Плотность CO_2 при 25°C и атмосферном давлении составляет около $1,8 \text{ кг/м}^3$. Плотность CO_2 в резервуаре 9 составляет около 730 кг/м^3 . Соотношение между плотностью рабочей текучей среды, когда она содержится в резервуаре 9 при указанных условиях, и плотностью этой же рабочей текучей среды, когда она содержится в кожухе 5 в атмосферных условиях, составляет, таким образом, около 400. В этой связи следует отметить, что если бы вместо CO_2 использовался атмосферный воздух, хранящийся в резервуаре 9 при давлении 65 бар и температуре 24°C , его плотность была бы всего 78 кг/м^3 , а теоретически требуемый объем резервуара 9 был бы примерно в десять раз больше.

Например, для установки 1 согласно изобретению, обеспечивающей возможность хранить 100 МВт·ч энергии, объем баллона под давлением составляет около 400000 м^3 , а объем резервуара составляет около 1000 м^3 .

Вариант с фиг. 2 показывает тип первичного теплообменника 7, т. е. регенератор тепла с неподвижным слоем, содержащий тепловую массу 14, состоящую, например, из металлических шариков. В конфигурации/фазе зарядки тепловая масса 14 перекрывается горячей сжатой рабочей текучей средой, которая передает тепло металлическим шарикам, которые хранят тепловую энергию. В конфигурации/фазе разрядки тепловая масса 14 перекрывается холодной рабочей текучей средой, которая поглощает тепло от металлических шариков и нагревается. В непоказанном варианте регенератор тепла может быть также типа с подвижным слоем. Таким образом, первичный теплообменник 7 является хранилищем тепла (хранилище тепловой энергии TES).

Вместо регенератора тепла с неподвижным слоем, показанного на фиг. 2, могут быть использованы другие типы регенераторов тепла.

Например, возможный первичный теплообменник 7 показан на фиг. 11. Как показано на фиг. 11, первичный теплообменник 7 содержит первичный контур 15, через который проходит первичная текучая среда, такая как вода, масло или соли. В одном аспекте первичный контур содержит теплообменный участок, предназначенный для обмена теплом с рабочей текучей средой. Например, в схематическом варианте осуществления, проиллюстрированном выше, секция вторых трубопроводов 8, через которые протекает рабочая текучая среда, проходит через теплообменную секцию 16, так что первичная текучая среда касается указанной секции. Первичный контур 15 содержит первичную камеру 17 горячего хранения для горячей первичной текучей среды, накопленной после отвода тепла от рабочей текучей среды в конфигурации/фазе зарядки устройства/способа, и первичную камеру 18 холодного хранения для холодной первичной текучей среды, накопленной после передачи тепла рабочей текучей среде в конфигурации/фазе разрядки устройства/способа. Теплообменный участок 16 размещен между первичной камерой 17 горячего хранения и первичной камерой 18 холодного хранения. В конфигурации/фазе зарядки устройства/способа первичная текучая среда протекает из первичной камеры 18 холодного хранения в первичную камеру 17 горячего хранения, отводя тепло от рабочей текучей среды. В конфигурации/фазе разрядки устройства/способа первичная текучая среда протекает из первичной камеры 17 горячего хранения в первичную камеру 18 холодного хранения, передавая тепло от рабочей текучей среды.

Другой возможный первичный теплообменник 7 показан на фиг. 12. Согласно тому, что проиллюстрировано на фиг. 12, первичный контур 15 первичного теплообменника 7 содержит теплообменный участок 16, образованный участком первичного контура 15, который перекрывается рабочей текучей средой, проходящей через вторые трубопроводы

8. Первичный контур 15 также содержит регенератор 19 тепла с неподвижным слоем, предпочтительно работающий при атмосферном давлении и предпочтительно аналогичный описанному выше, который перекрывается первичной текучей средой.

Вариант с фиг. 2 не оснащен дополнительным теплообменником 13, поэтому на соответствующей диаграмме T-S, которая не проиллюстрирована, по сравнению с диаграммой с фиг. 3, не показаны точки В и J.

Вариант с фиг. 2 также имеет особую конструкцию вторичного теплообменника 10. Показанный вторичный теплообменник 10 включает в себя вторичный контур 20, через который проходит вторичная текучая среда, например воздух или вода. Вторичный контур 20, в дополнение к теплообменному участку 11, размещенному внутри резервуара 9, содержит вторичную камеру 21 горячего хранения для вторичной горячей текучей среды, накопленной после отвода тепла от рабочей текучей среды в конфигурации/фазе зарядки устройства/способа, и вторичную камеру 22 холодного хранения для вторичной холодной текучей среды, накопленной после передачи тепла рабочей текучей среде в конфигурации/фазе разрядки устройства/способа. Вышеупомянутые камеры 21, 22 также соединены друг с другом, в дополнение к вышеупомянутому теплообменному участку 11, через радиатор 23, оснащенный вентиляторами 24 и рециркуляционными каналами, которые охлаждают вторичную текучую среду в течение ночи и нагревают ее в течение дня.

На фиг. 8, 9 и 10 показаны другие варианты вторичного теплообменника 10, связанного с резервуа-

ром 9.

Как показано на фиг. 8, вторичный контур 20, в дополнение к теплообменному участку 11, оснащен дополнительным теплообменным участком 25, через который он обменивается теплом, например, с воздухом или морской водой.

Как показано на фиг. 9, вторичный контур 20 оснащен вторичным резервуаром 26 с водой/льдом или другой двухфазной системой, соединенной с возможностью функционирования со вспомогательным охладителем 27.

Как показано на фиг. 10, вторичный контур 20 расположен в водоеме, полном воды, состоящем из нескольких камер 28a, 28b, 28c. Вариант осуществления, показанный на фиг. 10, показывает камеру 28a для хранения горячей воды, камеру 28b для хранения холодной воды и камеру 28c, сообщающуюся по текучей среде с другими камерами и вмещающую в себя часть вторичного контура 20. Вторичная текучая среда во вторичном контуре 20 охлаждается или нагревается водой в водоеме. Рабочая текучая среда конденсируется в фазе зарядки и испаряется в фазе разрядки подходящей циркулирующей водой, предпочтительно посредством погружных насосов и посредством вторичной текучей среды. Камеры 28 указанного водоема могут быть покрыты или открыты и сообщаться или не сообщаться с окружающей средой, так что камера, из которой циркулирует вода для конденсации во время зарядки, всегда охлаждается окружающей средой с помощью соответствующих панелей 29, в то время как камера, из которой циркулирует вода для испарения во время разрядки, всегда нагревается окружающей средой и, возможно, поддерживается теплой посредством крышки. Вышеупомянутое может дополнительно поддерживаться специальными системами обмена, которые поглощают тепло или выделяют тепло как за счет конвекции, так и за счет излучения, с окружающей средой, и все это для улучшения RTE системы.

Варианты осуществления с фиг. 4 и 5 конструктивно отличаются от уже описанных, поскольку вторичный теплообменник 10 расположен между первичным теплообменником 7 и резервуаром 9, т. е. он не интегрирован в резервуар 9. Вторичный теплообменник 10 расположен на третьем трубопроводе 12. На фиг. 4 схематично показан типовой вторичный теплообменник 10. На фиг. 5 показан схематический пример конструкции вторичного теплообменника 10.

Вторичный теплообменник 10, показанный на фиг. 5, содержит вторичный контур 20, через который проходит вторичная текучая среда, например вода. Вторичный контур 20 имеет теплообменный участок 11, который перекрывается рабочей текучей средой, проходящей через третьи трубопроводы 12, и выполнен с возможностью обмена теплом с рабочей текучей средой.

Вторичный контур 20 с фиг. 5 содержит камеру 21 вторичного горячего хранения для вторичной горячей текучей среды, накопленной после отвода тепла от рабочей текучей среды в конфигурации/фазе зарядки устройства/способа, и камеру 22 вторичного холодного хранения для вторичной холодной текучей среды, накопленной после передачи тепла рабочей текучей среде в конфигурации/фазе разрядки устройства/способа.

Теплообменный участок 11 расположен между вторичной камерой 21 горячего хранения и вторичной камерой 22 холодного хранения. В конфигурации/фазе зарядки устройства/способа вторичная текучая среда протекает из вторичной камеры 22 холодного хранения во вторичную камеру 21 горячего хранения, отводя тепло от рабочей текучей среды. В конфигурации/фазе разрядки устройства/способа вторичная текучая среда протекает из вторичной камеры 21 горячего хранения во вторичную камеру 21 холодного хранения, передавая тепло от рабочей текучей среды. Вторичный контур 20 также содержит одну или более промежуточных вторичных камер 30 хранения для регулирования/изменения скорости потока вторичной текучей среды в теплообменном участке 11 и изменения температуры рабочей текучей среды, обменивающейся теплом с этой вторичной текучей средой. На фиг. 5 показаны две промежуточные вторичные камеры 30 хранения.

Варианты осуществления с фиг. 4 и 5 конструктивно отличаются от того, что уже было описано, также потому, что резервуар 9 содержит разделительную мембрану 31, предназначенную для внутреннего разделения резервуара 9 на первую камеру 32 с переменным объемом для рабочей текучей среды в сверхкритической фазе и вторую камеру 33 с переменным объемом, сообщающуюся по текучей среде с компенсационным контуром 34, содержащим воду. Компенсационный контур 34 предназначен для поддержания по существу постоянного давления в сверхкритической рабочей текучей среде, поступающей из вторичного теплообменника 20 и содержащейся в первой камере 32 с переменным объемом резервуара 9.

Компенсационный контур 34 содержит вспомогательный резервуар 35 для воды при атмосферном давлении, который сообщается по текучей среде через соответствующие трубопроводы с нижней частью резервуара 9 и со второй камерой 33 с переменным объемом. Вспомогательная турбина 36 имеет впуск, сообщающийся со второй камерой 33 с переменным объемом, и выпуск, соединенный со вспомогательным резервуаром 35. Вспомогательная турбина 36 соединена со вспомогательным генератором 37 и предназначена для вращения за счет воды, поступающей из второй камеры 33 с переменным объемом в конфигурации/фазе зарядки устройства/способа. Насос 38 имеет впуск, сообщающийся со вспомогательным резервуаром 35, и выпуск, соединенный со второй камерой 33 с переменным объемом. Насос 38 соединен со вспомогательным двигателем 39 и предназначен для перекачивания воды из вспомогательного

резервуара 35 во вторую камеру 33 с переменным объемом в конфигурации/фазе разрядки устройства/способа.

На фиг. 6 показана диаграмма T-S для вариантов осуществления с фиг. 4 и 5.

На фиг. 7 показана диаграмма T-Q, относящаяся к части термодинамического преобразования, выполняемого вариантом осуществления с фиг. 5.

Вторичный теплообменник 10 и первичный теплообменник 7 в вариантах осуществления с фиг. 4 и 5 предназначены для осуществления сверхкритического преобразования рабочей текучей среды, так что указанная рабочая текучая среда накапливается в резервуаре в сверхкритической фазе. Фактически, в отличие от того, что показано на фиг. 3, первичный теплообменник 7 отводит тепло от рабочей текучей среды вверх, чтобы довести ее (точка D на фиг. 6) до температуры выше критической температуры и выше колокола Эндрюса. Затем вторичный теплообменник 10 переводит рабочую текучую среду в сверхкритическую фазу (точка E), заставляя ее двигаться по правой стороне колокола Эндрюса. На фиг. 7 показано снижение температуры рабочей текучей среды от точки D к точке E во время фазы зарядки и соответствующее повышение температуры вторичной рабочей текучей среды вторичного теплообменника 10 с фиг. 5 (точки U, V, W, Z). На той же фиг. 7 также показано повышение температуры рабочей текучей среды от точки F до точки G во время фазы разрядки и соответствующее снижение температуры вторичной рабочей текучей среды вторичного теплообменника 10 с фиг. 5 (точки Z, W, V, U).

Например, температура рабочей текучей среды (CO_2), накопленная в сверхкритической фазе в резервуаре 9, составляет 25°C , а давление рабочей текучей среды, накопленное в сверхкритической фазе в резервуаре 9, составляет 100 бар. Плотность CO_2 при 25°C и атмосферном давлении составляет около $1,8 \text{ кг/м}^3$. Плотность CO_2 в резервуаре 9 составляет около 815 кг/м^3 . Соотношение между плотностью рабочей текучей среды, когда она содержится в резервуаре 9 при указанных условиях, и плотностью этой же рабочей текучей среды, когда она содержится в кожухе 5 в атмосферных условиях, составляет, таким образом, около 450.

Следует отметить, что конструкция вторичного теплообменника с фиг. 10 также может быть принята в варианте осуществления с фиг. 4 и 5.

Дополнительно, вторичный теплообменник может быть оснащен системами управления расходом и/или температурой вторичной текучей среды, обычно воды или воздуха, выполненными с возможностью регулировать давление в резервуарах для хранения в определенных пределах, когда система функционирует в субкритических условиях. Управление температурой может осуществляться путем добавления тепла из атмосферы или отвода тепла в атмосферу, а также за счет обычных колебаний окружающей температуры воздуха и воды в разное время дня.

В проиллюстрированных вариантах осуществления, использующих CO_2 в качестве рабочей текучей среды, также предпочтительно присутствует система дегидратации CO_2 , осушитель, например, с цеолитами, чтобы избежать потенциального образования угольной кислоты в контуре.

На фиг. 13 показан еще один вариант установки 1. На ней показаны основные элементы, общие для фиг. 1, то есть турбина 2, компрессор 3, двигатель-генератор 4, кожух 5, первичный теплообменник 7 (хранилище тепла TES), бак 9 и вторичный теплообменник 10. Показанная здесь установка 1 также содержит дополнительный теплообменник 13. Как и в варианте осуществления, показанном на фиг. 4, вторичный теплообменник 10 расположен между первичным теплообменником 7 и резервуаром 9, т. е. он не интегрирован в резервуар 9. Подобно установке, показанной на фиг. 2, вторичный теплообменник 10 содержит вторичный контур 20, через который проходит вторичная текучая среда, например вода. Вторичный контур 20, в дополнение к теплообменному участку 11, содержит камеру 200 вторичного хранения для вторичной горячей текучей среды, накопленной после отвода тепла от рабочей текучей среды в конфигурации/фазе зарядки устройства/способа, и для вторичной холодной текучей среды, накопленной после передачи тепла рабочей текучей среде в конфигурации/фазе разрядки устройства/способа. Вышеупомянутая вторичная накопительная камера 200 также объединена с радиатором 23, оборудованным одним или несколькими вентиляторами 24, размещенными на рециркуляционном канале, который, например, охлаждает вторичную текучую среду в течение ночи и нагревает ее в течение дня. Вышеупомянутая камера 200 вторичного хранения также соединена с дополнительным теплообменником 13 через соответствующий контур 210.

В этом варианте осуществления установка 1 также содержит по меньшей мере один дополнительный теплообменник 220, который принимает тепло от дополнительного источника 230 тепла. Дополнительный теплообменник 220 расположен на втором трубопроводе 8 между впуском 2а турбины 2 и первичным теплообменником 7. Дополнительный источник 230 тепла представляет собой, например, но не исключительно, солнечный источник (например, солнечное поле), остаточное тепло, полученное в результате промышленной регенерации (регенерация отходящего тепла), тепло выхлопных газов газовых турбин и т. д. Дополнительный источник 230 тепла обеспечивает дополнительное тепло во время фазы разрядки. Температура, при которой рабочая текучая среда подается во время фазы разрядки и непосредственно перед тем, как она поступает в турбину 2, через дополнительный источник 230 тепла и дополнительный теплообменник 220, выше, чем температура рабочей текучей среды, которая получается в конце

сжатия во время фазы зарядки. Например, температура, к которой рабочая текучая среда приводится через дополнительный источник 230 тепла и дополнительный теплообменник 220, больше примерно на 100°C, но также на 200°C, 300°C или 400°C температуры рабочей текучей среды в конце сжатия.

Установка 1 также оснащена вспомогательным хранилищем 240 тепла (хранилище тепловой энергии TES), соединенным через соответствующие контуры с компрессором 2 и турбиной 2, чтобы обеспечить в компрессоре 3 (во время фазы зарядки) сжатие с промежуточным охлаждением (с одним или более промежуточных охлаждений) и для достижения в турбине 2 (во время фазы разрядки) расширения с промежуточным нагреванием (с одним или более промежуточных нагреваний). Тепло, накопленное во вспомогательном аккумуляторе 240 тепла во время сжатия с промежуточным охлаждением, используется полностью или частично для достижения расширения с промежуточным нагреванием.

В варианте осуществления способа, выполняемого с помощью установки с фиг. 13, предусмотрено не выполнять промежуточные охлаждения в фазе зарядки и не выполнять промежуточные нагревания в фазе разрядки и обеспечивать дополнительное тепло в фазе разрядки через дополнительный источник 230 тепла и дополнительный теплообменник 220.

В варианте способа, выполняемого с помощью установки с фиг. 13, предусмотрено выполнять одно или более промежуточных охлаждений в фазе зарядки и равное количество промежуточных нагреваний в фазе разрядки в дополнение к обеспечению дополнительного тепла в фазе разрядки через дополнительный источник 230 тепла и дополнительный теплообменник 220.

В дополнительном варианте осуществления способа, выполняемого с помощью установки с фиг. 13, предусмотрено выполнять ряд промежуточных охлаждений в фазе зарядки и выполнять одно промежуточное охлаждение в фазе разрядки с использованием тепла (накопленного во вспомогательном тепловом аккумуляторе 240) только последнего промежуточного охлаждения в дополнение к теплу дополнительного тепла от дополнительного источника 230 тепла и дополнительного теплообменника 220. Тепло, хранящееся во вспомогательном тепловом аккумуляторе 240 и поступающее от оставшихся промежуточных охлаждений, может быть использовано для других целей, например, для когенерации.

Список элементов

- 1 установка хранения энергии,
- 2 турбина,
- 2а впуск турбины 2b выпуск турбины,
- 3 компрессор,
- 3а впуск компрессора, 3b выпуск компрессора,
- 4 мотор-генератор,
- 5 кожух,
- 6 первые трубопроводы,
- 7 первичный теплообменник,
- 8 вторые трубопроводы,
- 9 резервуар,
- 10 вторичный теплообменник,
- 11 теплообменный участок вторичного теплообменника,
- 12 третьи трубопроводы,
- 13 дополнительный теплообменник, 13а охладитель,
- 14 тепловая масса,
- 15 первичный контур,
- 16 теплообменный участок первичного контура,
- 17 первичная камера горячего хранения,
- 18 первичная камера холодного хранения,
- 19 регенератор тепла с неподвижным слоем,
- 20 вторичный контур,
- 21 вторичная камера горячего хранения,
- 22 вторичная камера холодного хранения,
- 23 радиатор,
- 24 вентиляторы,
- 25 дополнительный теплообменный участок,
- 26 вторичный резервуар,
- 27 вспомогательный охладитель,
- 28а, 28б, 28с камеры водоема,
- 29 панели,
- 30 промежуточные вторичные камеры хранения,
- 31 разделительная мембрана,
- 32 первая камера с переменным объемом,
- 33 вторая камера с переменным объемом,
- 34 компенсационный контур,

35 вспомогательный резервуар,
 36 вспомогательная турбина,
 37 вспомогательный генератор,
 38 насос,
 39 вспомогательный двигатель,
 200 вторичная камера хранения,
 210 дополнительный контур теплообменника,
 220 дополнительный теплообменник,
 230 дополнительный источник тепла,
 240 дополнительное хранилище тепла.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка хранения энергии, содержащая:

кожух (5), хранящий рабочую текучую среду, отличную от атмосферного воздуха, в газовой фазе, причем указанный кожух (5) представляет собой баллон высокого давления или имеет конструкцию газометра, так что рабочая текучая среда в указанном кожухе находится в состоянии равновесия давления с атмосферой с низким или нулевым избыточным давлением;

резервуар (9), хранящий указанную рабочую текучую среду в жидкой или сверхкритической фазе с температурой, близкой к критической температуре; причем указанная критическая температура близка к температуре окружающей среды;

причем установка выполнена с возможностью выполнения замкнутого циклического термодинамического преобразования (ТТС), сначала в одном направлении в конфигурации зарядки, а затем в противоположном направлении в конфигурации разрядки, между указанным кожухом (5) и указанным резервуаром (9); при этом в конфигурации зарядки установка хранит тепло и давление, а в конфигурации разрядки генерирует энергию.

2. Установка по п.1, в которой рабочая текучая среда имеет следующие химико-физические свойства: критическая температура от 0°C до 200°C, плотность при 25°C от 0,5 кг/м³ до 10 кг/м³.

3. Установка по п.1 или 2, содержащая:

компрессор (3) и двигатель, механически соединенные друг с другом;

турбину (2) и генератор, механически соединенные друг с другом;

причем указанный кожух (5) снаружи находится в контакте с атмосферой и ограничивает внутри объем, предназначенный для содержания рабочей текучей среды при атмосферном давлении или по существу атмосферном давлении, причем указанный объем избирательно сообщается по текучей среде с выпуском (3а) компрессора (3) или с выпуском (2b) турбины (2);

первичный теплообменник (7), избирательно сообщающийся по текучей среде с выпуском (3b) компрессора (3) или с выпуском (2а) турбины (2);

причем указанный резервуар (9) сообщается по текучей среде с первичным теплообменником (7) для накопления рабочей текучей среды;

вторичный теплообменник (10), функционирующий между первичным теплообменником (7) и резервуаром (9) или в указанном резервуаре (9);

причем указанная установка выполнена с возможностью функционирования в конфигурации зарядки или в конфигурации разрядки;

при этом в конфигурации зарядки кожух (5) сообщается по текучей среде с выпуском (3а) компрессора (3), а первичный теплообменник (7) сообщается по текучей среде с выпуском (3b) компрессора (3), турбина (2) находится в состоянии покоя, двигатель функционирует и приводит в действие компрессор (3) для сжатия рабочей текучей среды, поступающей из кожуха (5), первичный теплообменник (7) работает как охладитель для отвода тепла от сжатой рабочей текучей среды, ее охлаждения и хранения тепловой энергии, вторичный теплообменник (10) работает как охладитель для отвода дополнительного тепла от сжатой рабочей среды и хранения дополнительной тепловой энергии, резервуар (9) принимает и хранит сжатую и охлажденную рабочую текучую среду, причем рабочая текучая среда, хранящаяся в резервуаре (9), имеет температуру, близкую к ее собственной критической температуре;

причем в конфигурации разрядки кожух (5) сообщается по текучей среде с выпуском (2b) турбины (2), а первичный теплообменник (7) сообщается по текучей среде с выпуском (2а) турбины (2), компрессор (3) находится в состоянии покоя, вторичный теплообменник (10) работает как нагреватель для передачи тепла рабочей текучей среде, поступающей из резервуара (9), первичный теплообменник (7) работает как нагреватель для передачи дополнительного тепла рабочей текучей среде и ее нагрева, турбина (2) вращается нагретой рабочей текучей средой и приводит в действие генератор, генерирующий энергию, давление рабочей текучей среды возвращается в кожухе (5) до атмосферного или по существу атмосферного давления.

4. Установка по п.3, содержащая дополнительный теплообменник (13), расположенный с возможностью функционирования между кожухом (5) и компрессором (3) и между кожухом (5) и турбиной (2)

для предварительного нагрева рабочей текучей среды перед сжатием в компрессоре (3), в конфигурации хранения, или для охлаждения рабочей текучей среды из турбины (2), в конфигурации разрядки.

5. Установка по одному из пп.3 или 4, в которой двигатель и генератор являются отдельными элементами; или в которой двигатель и генератор образованы одним двигателем-генератором (4), и установка содержит соединительные устройства между указанным двигателем-генератором (4) и компрессором (3) и турбиной (2) для механического и попеременного соединения двигателя-генератора (4) с компрессором (3) или с турбиной (2).

6. Установка по одному из пп.3, 4 или 5, в которой вторичный теплообменник (10) и первичный теплообменник (7) предназначены для осуществления сверхкритического преобразования рабочей текучей среды, так что указанная рабочая текучая среда накапливается в резервуаре (9) в сверхкритической фазе.

7. Установка по предыдущему пункту, в которой резервуар (9) содержит разделительную мембрану (31), предназначенную для внутреннего разделения резервуара (9) на первую камеру с переменным объемом (32) для рабочей текучей среды в сверхкритической фазе и на вторую камеру с переменным объемом (33), сообщающуюся по текучей среде с компенсационным контуром (34), содержащим несжимаемую текучую среду.

8. Установка по одному из пп.3-5, в которой вторичный теплообменник (10) и первичный теплообменник (7) предназначены для осуществления докритического преобразования рабочей текучей среды, так что рабочая текучая среда накапливается в резервуаре (9) в жидкой фазе.

9. Установка по одному из пп.3-8, в которой первичный теплообменник (7) представляет собой регенератор тепла с неподвижным или подвижным слоем или содержит первичный контур (15) воды, масла или соли по меньшей мере с одной первичной камерой (17, 18) хранения.

10. Установка по одному из пп.3-9, в которой вторичный теплообменник (10) содержит вторичный воздушный или водяной контур (20) с по меньшей мере одной вторичной камерой (21, 22) хранения и выполнен с возможностью отведения тепла от рабочей текучей среды в конфигурации зарядки или для передачи тепла рабочей текучей среде в конфигурации разрядки, при температуре ниже 100°C.

11. Способ хранения энергии, осуществляемый посредством установки по меньшей мере по одному из предыдущих пунктов, причем способ содержит:

выполнение замкнутого термодинамического циклического преобразования (ТТС), сначала в одном направлении в конфигурации/фазе зарядки, а затем в противоположном направлении в конфигурации/фазе разрядки, между кожухом (5) для хранения рабочей текучей среды, отличной от атмосферного воздуха, в газовой фазе и в состоянии равновесия давления с атмосферой с низким или нулевым избыточным давлением, и резервуаром (9) для хранения указанной рабочей текучей среды в жидкой или сверхкритической фазе с температурой, близкой к критической температуре; причем указанная критическая температура близка к температуре окружающей среды; при этом в фазе зарядки способ используют для накопления тепла и давления, а в фазе разрядки для генерирования энергии.

12. Способ по п.11, в котором фаза разрядки содержит:

сжатие указанной рабочей текучей среды, поступающей из указанного кожуха (5), снаружи находящегося в контакте с атмосферой и ограничивающего внутри объем, предназначенный для содержания рабочей текучей среды при атмосферном давлении или по существу атмосферном давлении, с поглощением энергии;

нагнетание сжатой рабочей текучей среды через первичный теплообменник (7) и вторичный теплообменник (10), расположенные последовательно, для доведения температуры рабочей текучей среды близко к ее собственной критической температуре; причем первичный теплообменник (7) работает как охладитель для отвода тепла от сжатой рабочей текучей среды, ее охлаждения и хранения тепловой энергии, при этом вторичный теплообменник (10) работает как охладитель для отвода дополнительного тепла от сжатой рабочей текучей среды и хранения дополнительной тепловой энергии;

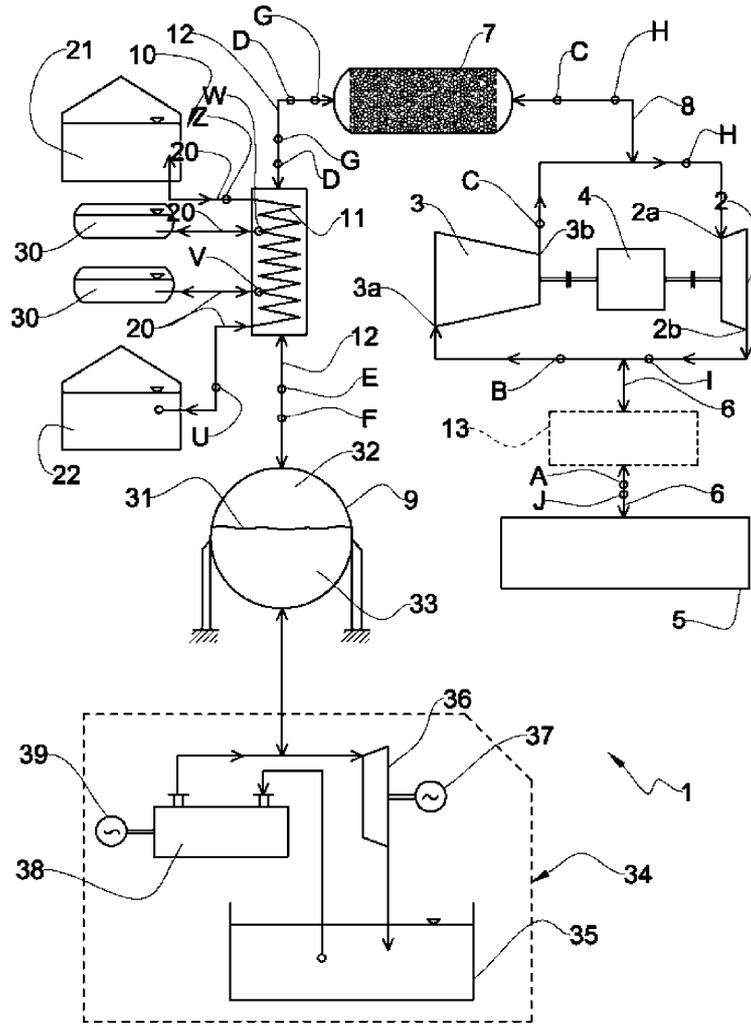
накопление охлажденной рабочей текучей среды в указанном резервуаре (9); причем вторичный теплообменник (10) и первичный теплообменник (7) осуществляют сверхкритическое преобразование рабочей текучей среды, так что указанная рабочая текучая среда накапливается в резервуаре (9) в сверхкритической фазе, или вторичный теплообменник (10) и первичный теплообменник (7) осуществляют докритическое преобразование рабочей текучей среды, так что указанная рабочая текучая среда накапливается в резервуаре (9) в жидкой фазе.

13. Способ по п.11 или 12, в которой указанная рабочая текучая среда имеет следующие химико-физические свойства: критическая температура от 0°C до 200°C, плотность при 25°C от 0,5 кг/м³ до 10 кг/м³.

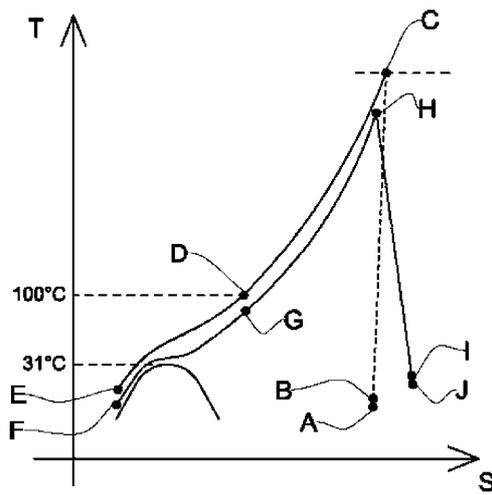
14. Способ по п.12 или 13, в котором фаза разрядки и генерации энергии содержит:

пропускание рабочей текучей среды из резервуара (9) через вторичный теплообменник (10) и первичный теплообменник (7); причем вторичный теплообменник (10) работает как нагреватель для передачи тепла рабочей текучей среде, поступающей из резервуара (9), причем первичный теплообменник (7) работает как нагреватель для передачи дополнительного тепла рабочей текучей среде и ее нагрева;

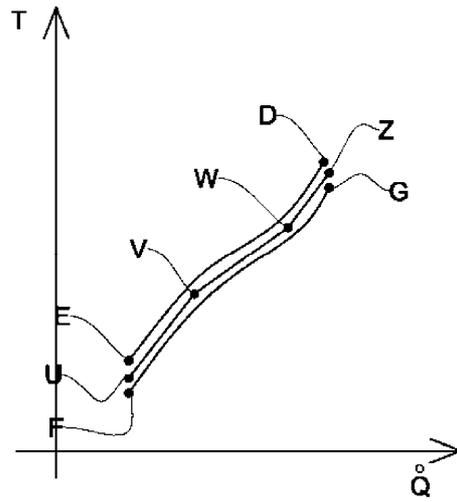
пропускание нагретой рабочей текучей среды через турбину (2), причем турбина (2) вращается на-



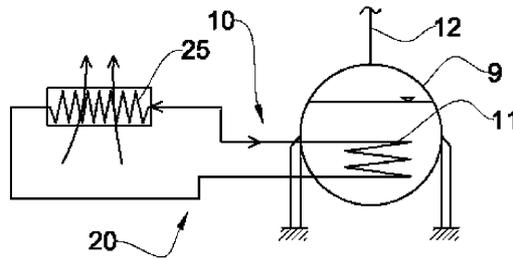
Фиг. 5



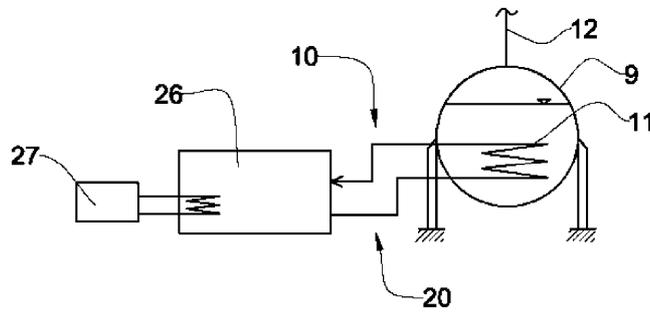
Фиг. 6



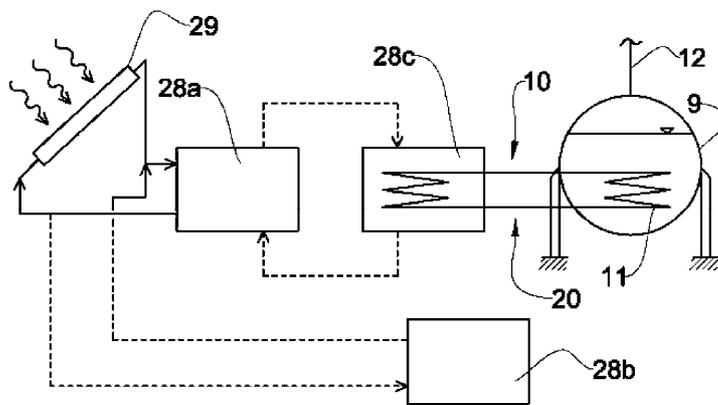
Фиг. 7



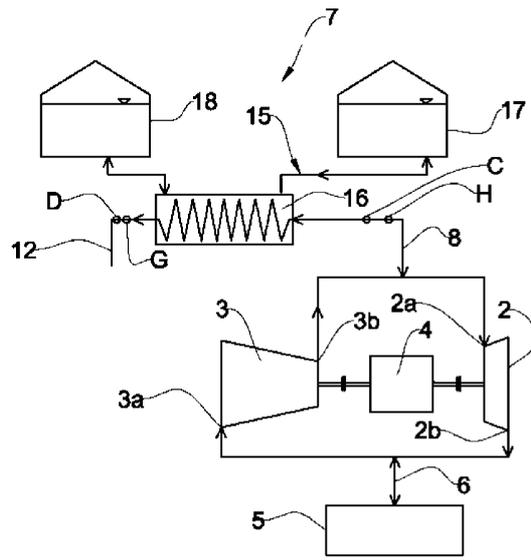
Фиг. 8



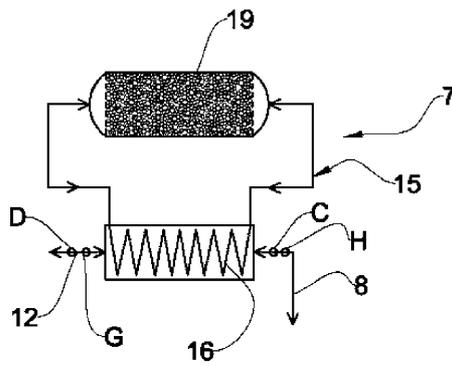
Фиг. 9



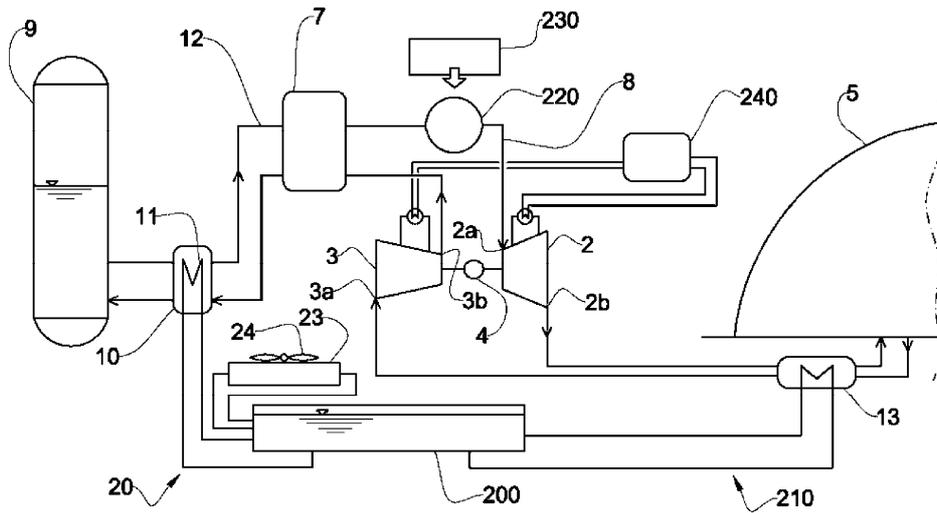
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13