

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202291223 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.08.30

(51) Int. Cl. *B01D 53/14* (2006.01)
B64C 39/02 (2006.01)
G01W 1/08 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.12.17

(54) СИСТЕМА И СПОСОБ УЛАВЛИВАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ВЕЩЕСТВА

(31) 62/952,248

(72) Изобретатель:

(32) 2019.12.21

Орен Эран (IL)

(33) US

(74) Представитель:

(86) PCT/IL2020/051301

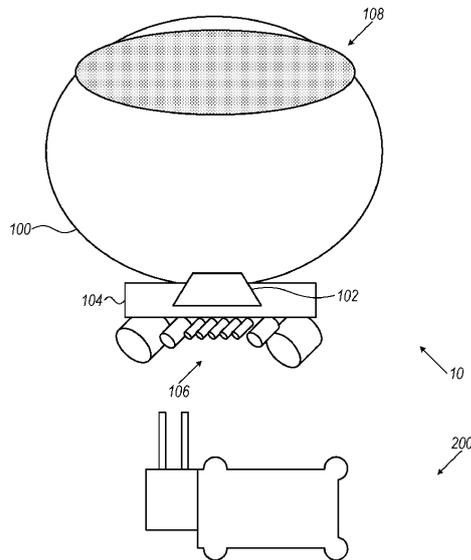
Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатъев
А.В., Билык А.В., Дмитриев А.В.,
Бучака С.М., Бельтюкова М.В. (RU)

(87) WO 2021/124332 2021.06.24

(71) Заявитель:

ХАЙ ХОУПС ЛЭБЗ ЛТД. (IL)

(57) Система и способ улавливания газообразного вещества, включающие в себя воздушный блок, выполненный с возможностью улавливания газообразного вещества непосредственно из атмосферы, и дополнительно включающие в себя средство хранения, выполненное с возможностью переноса упомянутого газообразного вещества для дальнейшей обработки в невоздушный блок, с целью смягчения последствий изменения климата и дальнейшего применения уловленных газов.



202291223

A1

A1

202291223

СИСТЕМА И СПОСОБ УЛАВЛИВАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ВЕЩЕСТВА

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к области улавливания газообразного вещества и, более конкретно, но не исключительно, к улавливанию диоксида углерода непосредственно из атмосферы в целях смягчения последствий изменения климата, и дальнейшему применению уловленных газов.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Изменение климата уже давно является глобальной проблемой, которая имеет огромный потенциал влияния на окружающую среду и благополучие людей во всемирном масштабе. Человеческая деятельность, такая как сжигание ископаемых видов топлива и вырубка лесов, наряду с производными явлениями, такими как ускоренное таяние вечной мерзлоты, увеличивает количество парниковых газов в атмосфере Земли и вызывает глобальные изменения климата. Вследствие этого было проверено и внедрено множество концепций, имеющих своей целью смягчение последствий изменения климата.

В настоящее время концентрация диоксида углерода в земной атмосфере составляет 411 частей на миллион (ч/млн). Этот показатель увеличивается более чем на 2 ч/млн в год из-за продолжающихся выбросов в многочисленных и разнообразных секторах мировой экономики. Согласно Парижскому соглашению, заключенному в рамках РКИК ООН и подписанному большинством стран в 2015 году, чтобы избежать катастрофических последствий, человечество должно ограничить повышение средней температуры до «намного ниже» 2 °С по сравнению с доиндустриальным уровнем. С целью попытаться спрогнозировать, как избежать упомянутого потенциально катастрофического предела повышения на 2 °С, применяемые модели различаются между собой учетом оставшегося эмиссионного бюджета углерода, но обычно нацелены на то, чтобы его концентрация оставалась ниже 430 ч/млн, тогда как показатель в 450 ч/млн указывает на приблизительный переход к высокой вероятности проявления необратимых эффектов, а поскольку одна ч/млн примерно соответствует нескольким миллиардам метрических тонн CO₂, это подразумевает необходимость удаления из атмосферы парниковых газов в объеме порядка десятков миллиардов тонн в год.

В данной области техники описано множество способов улавливания диоксида углерода. Среди них имеются газоочистители, выполненные с возможностью применения в потоках с высокой концентрацией диоксида углерода, таких как выбросы электростанций, промышленных предприятий или выхлоп транспортных средств. Хотя такие способы улавливания углерода из дымовых газов могут в некоторой степени смягчить постоянное

увеличение выбросов углерода, их применимость является ограниченной, поскольку они не позволяют решить проблему выбросов углерода из распределенных источников, а также не способны справиться с высокой концентрацией диоксида углерода, который уже циркулирует как часть земной атмосферы.

Улавливание диоксида углерода непосредственно из земной атмосферы с применением различных химических процессов описано в нескольких публикациях, например, в публикациях патентных заявок US20170106330A1 и US20170028347A1, которые описывают улавливание диоксида углерода, проводимое с помощью стационарных наземных систем с применением гидроксидов натрия, которые в дальнейшем допускают сжатие потока диоксида углерода высокой чистоты до состояния жидкости или сверхкритической жидкости. Другие средства химического и физического улавливания и обработки диоксида углерода были описаны, например, в публикациях патентных заявок WO2016185387A1, AU2008239727B2 и US20140061540A1. Патентные публикации US4963165A и US8702847B2 также описывают улавливание, разделение, конденсацию и повторное применение диоксида углерода.

В публикациях патентной заявки US20170106330A1 описана система отделения от воздуха и хранения молекул, атомов и/или ионов, включающая в себя по меньшей мере один сборный резервуар, выполненный с возможностью приема молекул, атомов и/или ионов, которые отделены от окружающего воздуха. Система дополнительно содержит по меньшей мере один резервуар для хранения отделенных молекул, атомов и/или ионов и по меньшей мере одно выпускное отверстие, при этом средством для сбора воздуха может быть газохранилище или газоуловительная камера.

В публикациях патентной заявки US 20110146488A описано улавливание и удаление значительных количеств молекул диоксида углерода из входящего потока воздуха за счет направления потока в находящуюся в воздухе цилиндрическую поглотительную коробку из углеродного композита или поглотительную коробку для «Минимизации содержания диоксида углерода в атмосфере» (АТСОМ — англ.: Atmospheric Carbon Dioxide Mitigation), которая способна улавливать, удалять, а затем высвободить частицы с отрицательной ионизацией в поле требуемых высокочастотных электромагнитных волн. Первоначальный поток воздуха в поглотительную коробку АТСОМ замедляют до конкретной скорости, когда воздушный поток проходит через спиральную камеру с крыльчатками дополнительного сопротивления, а затем в камеру свободного потока, где скорость входящего потока сжимает объем воздуха, обеспечивая осмотическое единообразие распределения концентрации молекул CO₂.

По приведенному выше уровню техники можно заметить, что хотя и ведутся

различные разработки и практические испытания, в целом эти усилия не позволяют удовлетворить требования рынка с точки зрения цены, смягчения последствий (в отношении выбросов углерода на тонну улавливаемого диоксида углерода) и возможностей применения.

Ни в одной из упомянутых выше публикаций не сообщают, отдельно или в сочетании, о системе улавливания газообразного вещества, включающей в себя воздушный блок и неводный блок, и выполненную с возможностью перемещения хранимого отделенного газообразного вещества из воздушного блока в неводный блок для его дальнейшей обработки или хранения.

Существует потребность в создании системы и способа улавливания газообразного вещества непосредственно из атмосферы экономичным, масштабируемым и применимым на практике образом.

Кроме того, существует потребность в создании системы и способа, выполненных с возможностью отделения средства хранения, заполненного сжатым газообразным веществом, для дальнейшей обработки с помощью неводной установки, что повышает эффективность сбора газообразного вещества, позволяя улавливать большее количество газообразного вещества, такого как масса диоксида углерода в рамках одного вылета, что сокращает потребность в регулярном обслуживании и продолжительность пребывания на земле.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Настоящее изобретение предлагает систему и способ для улавливания газообразного вещества непосредственно из атмосферы, которые являются экономичными и легко масштабируемыми по сравнению с любой другой имеющейся системой и способом.

Указанные система и способ могут дополнительно включать в себя задействование климатических условий на большой высоте, которые допускают фазовые переходы газов при низких температурах и относительно низких давлениях для сжижения или отвердевания газообразного вещества, такого как диоксид углерода, и, таким образом, отделения его от других газов, образующих атмосферную смесь.

Указанные система и способ могут дополнительно включать в себя применение высотной платформы/носителя, таких как высотный аэростат, выполненных с возможностью улавливания на значительной высоте больших количеств газообразного вещества, такого как CO₂, при этом указанная концентрация CO₂ на большой высоте имеет тенденцию не снижаться из-за свойственных сильных ветров и вызванной ими адвекции.

Указанные система и способ могут дополнительно включать в себя перемещение хранимого отделенного газообразного вещества из воздушной установки в неводную

установку для его дальнейшей обработки или хранения.

Указанные система и способ могут дополнительно включать в себя повышение эффективности сбора газообразного вещества за счет возможности улавливания большего количества газообразного вещества, такого как масса диоксида углерода в рамках одного вылета, что сокращает потребность в регулярном обслуживании и продолжительность пребывания на земле.

Представленные ниже варианты осуществления данного изобретения и их аспекты описаны и проиллюстрированы в сочетании с системами, устройствами и способами, которые являются примерными и иллюстративными, и при этом не ограничивают объем данного изобретения. В различных вариантах осуществления данного изобретения одна или более из описанных выше проблем были уменьшены или устранены, в то время как другие варианты осуществления данного изобретения направлены на другие преимущества или усовершенствования.

Согласно одному аспекту предложена система улавливания газообразного вещества, включающая в себя по меньшей мере один воздушный блок, выполненный с возможностью нахождения в воздухе; по меньшей мере один невоздушный блок; по меньшей мере одно средство разделения газов, выполненное с возможностью его несения воздушным блоком; средство хранения, выполненное с возможностью его несения воздушным блоком; контроллер, выполненный с возможностью управления работой системы; и источник энергии, выполненный с возможностью обеспечения работы системы, при этом по меньшей мере одно средство разделения газов выполнено с возможностью отделения по меньшей мере одного указанного газообразного вещества от воздуха, при этом по меньшей мере одно отделенное газообразное вещество выполнено с возможностью хранения в средстве хранения, и при этом воздушный блок выполнен с возможностью переноса хранящегося отделенного газообразного вещества в невоздушный блок.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления по меньшей мере одно средство разделения газов является действующим, когда воздушный блок находится в воздухе, на высоте в диапазоне 5–15 км.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления средство разделения газов содержит по меньшей мере одно устройство повышения давления.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления средство разделения газов содержит химические катализаторы, которые могут быть основаны на сорбентах диоксида углерода и выполнены с возможностью применения процедуры разделения газов.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления средство разделения газов содержит биологические ферменты, выполненные с возможностью применения процедуры

разделения газов.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздушный блок представляет собой высотный аэростат.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздушный блок выполнен с возможностью привязки к невоздушному блоку.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздушный блок дополнительно содержит средство автоматического управления курсом.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздушный блок выполнен с возможностью оснащения/встраивания средства для приведения летательного аппарата в движение.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления средство для хранения представляет собой по меньшей мере один контейнер со сжатым газом, который может быть выполнен с возможностью отделения от воздушного блока и достижения невоздушного блока.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления невоздушный блок включает в себя указанную посадочную площадку, выполненную с возможностью улавливания по меньшей мере одного контейнера со сжатым газом.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления по меньшей мере один контейнер со сжатым газом включает в себя средство наведения, выполненное с возможностью проведения по меньшей мере одного контейнера со сжатым газом от воздушного блока к невоздушному блоку.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления невоздушный блок выполнен с возможностью применения хранимого указанного газообразного вещества, уловленного воздушным блоком.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления невоздушный блок выполнен с возможностью размещения на поверхности земли, водоема или на судне, при этом невоздушный блок, выполненный с возможностью размещения на поверхности водоема, может дополнительно включать в себя причальную зону.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления контроллер дополнительно выполнен с возможностью формирования навигационных команд для управления воздушным блоком.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления средство разделения газов дополнительно содержит воздушный компрессор, выполненный с возможностью повышения давления протекающего внутри воздуха на 6–10 бар выше давления окружающего воздуха.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления указанное газообразное вещество представляет собой диоксид углерода.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления находящийся в воздухе воздушный блок выполнен с возможностью задействования низких температур, имеющих на больших высотах, для сжижения или отвердевания указанного газообразного вещества.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления по меньшей мере одно средство разделения газа, носимое находящимся в воздухе воздушным блоком, выполнено с возможностью задействования высотного ветра для задействования давления входящего воздушного потока с целью разделения газа.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления потенциальная энергия, накопленная в сжатом воздухе, может быть дополнительно задействована системой улавливания газообразного вещества.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздушный блок предназначен для улавливания диоксида углерода с применением процесса фазового перехода в диапазоне температур от минус 100 ° до минус 10 ° и диапазоне давлений 0,2–10 бар.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления источник энергии основан на солнечной энергии/энергии ветра/предварительно накопленной энергии или выполнен с возможностью питания воздушного блока с применением проводного соединения.

В соответствии со вторым аспектом предложен способ улавливания газообразного вещества с применением системы улавливания газообразного вещества, включающий в себя этапы отделения по меньшей мере одного указанного газообразного вещества от воздуха с применением по меньшей мере одного средства разделения газов, носимого находящимся в воздухе воздушным блоком, хранения по меньшей мере одного отделенного газообразного вещества в средстве хранения, носимого находящимся в воздухе воздушным блоком, и переноса хранящегося отделенного газообразного вещества в невоздушный блок.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Ниже в настоящем документе представлено описание некоторых вариантов осуществления изобретения со ссылкой на прилагаемые графические материалы. Указанное описание вместе с графическими материалами делают очевидным для среднего специалиста в данной области техники, как некоторые варианты осуществления могут быть реализованы на практике. Графические материалы предназначены для иллюстративного описания, и при этом не предпринимали никаких попыток показать подробности конструкции варианта осуществления более подробно, чем это необходимо для понимания

принципов изобретения.

В графических материалах:

FIG. 1 показан схематический вид в перспективе воздушного блока и невоздушного блока системы улавливания газообразного вещества в соответствии с некоторыми вариантами осуществления изобретения.

FIG. 2 показан схематический вид в перспективе невоздушного блока системы улавливания газообразного вещества в соответствии с некоторыми вариантами осуществления изобретения.

FIG. 3 показана блок-схема, иллюстрирующая возможные модули, которые образуют воздушный блок системы улавливания газообразного вещества, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления изобретения.

На фиг. 4А показана типовая фазовая диаграмма состояния CO₂ при различных температурах.

На фиг. 4В показана комбинированная диаграмма, отображающая концентрации CO₂ в пробах окружающего воздуха, взятых на разных высотах.

На фиг. 5 показан линейный график, иллюстрирующий различные температуры и давления, оказывающие влияние на сжижение или отвердевание CO₂.

На фиг. 6А и 6В показан линейный график, иллюстрирующий поглощающую способность сорбентов для улавливания углерода, имеющих высокую аффинность к CO₂.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

В последующем подробном описании изложены многочисленные конкретные детали для обеспечения полного понимания изобретения. Однако специалистам в данной области техники будет понятно, что настоящее изобретение может быть осуществлено на практике без этих конкретных подробностей. В других случаях хорошо известные способы, процедуры, компоненты, модули, блоки и/или контуры не были описаны подробно, чтобы излишне не затруднять понимание данного изобретения. Некоторые признаки или элементы, описанные в отношении одного варианта осуществления, могут быть объединены с признаками или элементами, описанными в отношении других вариантов осуществления. Во избежание неопределенности рассмотрение одних и тех же или подобных признаков или элементов может не повторяться.

Хотя варианты осуществления указанного изобретения не ограничены в этом отношении, рассмотрение с применением таких терминов, как, например, «управление», «обработка», «вычисление», «расчет», «определение», «установление», «анализ», «проверка», «задание», «прием» и т. п. могут относиться к операции(-ям) и/или процессу(-ам) контроллера, компьютера, вычислительной платформы, вычислительной системы или

другого электронного вычислительного устройства, которое осуществляет действия и/или преобразует данные, представленные в виде физических (например, электронных) величин в регистрах и/или запоминающих устройствах компьютера, в другие данные, аналогичным образом представленные в виде физических величин в регистрах и/или запоминающих устройствах компьютера, или другом носителе информации для долговременного хранения, который может хранить команды по выполнению операций и/или процессов.

Если иное не указано явным образом, описанные в настоящем документе варианты осуществления способа не ограничены конкретным порядком или последовательностью. Кроме того, некоторые из описанных вариантов осуществления способа или их элементы могут происходить или подлежать выполнению одновременно, в один и тот же момент времени или параллельно.

Термин «контроллер» в контексте настоящего документа относится к любому типу вычислительной платформы или компонента, которые могут быть оснащены центральным процессорным устройством (ЦПУ) или микропроцессорами и могут быть снабжены несколькими портами ввода/вывода (I/O), например, универсальный компьютер, такой как персональный компьютер, ноутбук, планшет, мобильный сотовый телефон, микросхема контроллера, система на кристалле (SoC) или система облачных вычислений.

Термин «сорбенты для улавливания углерода» в контексте настоящего документа относится к любому материалу с более высокой аффинностью к CO₂ по сравнению с другими атмосферными газами, такими как азот и кислород, и, более конкретно, к разнообразным, обычно пористым, пребывающим в твердой фазе материалам, которые могут содержать широкий спектр катионов, и может включать в себя мезопористые кремнеземы, цеолиты, металлоорганические каркасы и т. д., в которых эти материалы потенциально способны избирательно удалять CO₂ из больших объемов воздуха.

Термин «металлоорганический каркас» (MOF — англ.: metal-organic framework) в контексте настоящего документа относится к классу пористых соединений, обладающих низкой теплоемкостью и состоящих из ионов металла или кластеров, скоординированных с органическими лигандами, которые образуют одномерные, двумерные или трехмерные структуры. Из-за небольшого размера пор и высокой доли пустот, MOF считают перспективными материалами, имеющими потенциал для применения в качестве адсорбента для улавливания CO₂, и могущими представлять собой эффективную альтернативу по сравнению с традиционными способами на основе аминовых растворителей, широко применяемыми в настоящее время. CO₂ может связываться с поверхностью MOF посредством как физической сорбции, которая вызвана ван-дер-ваальсовыми взаимодействиями, так и химической сорбции, обусловленной образованием

ковалентной связи. После того, как MOF насыщен CO₂, CO₂ может быть удален из MOF с помощью либо перепадов температуры, либо перепадов давления (процесс, известный как регенерация). При регенерации с перепадами температуры MOF можно нагревать до тех пор, пока CO₂ не будет десорбирован. При перепадах давления указанное давление следует уменьшать до тех пор, пока CO₂ не будет десорбирован.

Термин «ZIF» в контексте настоящего документа относится к классу металлоорганических каркасов (MOF), которые с точки зрения топологии изоморфны цеолитам, при этом конкретный MOF, названный ZIF-8, имеет очень высокий коэффициент разделения для смесей водорода и диоксида углерода, а также относительно высокую специфичность по диоксиду углерода в сравнении с азотом. ZIF-8 также известен как относительно стабильный MOF, что позволяет применять его в широком диапазоне температур и давлений. Соединения ZIF состоят из скоординированных в форме тетраэдра ионов переходных металлов (например, Fe, Co, Cu, Zn), связанных имидазолатными линкерами, и с точки зрения топологии подобны цеолиту.

Термин «инверсионный слой» в контексте настоящего документа относится к слою или к области в атмосфере, с точки зрения высоты, в которых при любом дальнейшем увеличении высоты температура перестает снижаться. Хотя тепловая инверсия может происходить при ряде условий, обычно инверсионным слоем называют высоту в верхней части тропосферы, иногда называемой тропопаузой, на которой вертикальный градиент температуры меняется на противоположный.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящее изобретение описывает систему улавливания газообразного вещества, включающую в себя легкий воздушный блок, выполненный с возможностью запуска в атмосферу, и содержащий по меньшей мере одно средство разделения газов, такое как компрессор. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления указанный воздушный блок может представлять собой высотный аэростат и может дополнительно содержать компоненты управления, навигации и изменения курса. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления указанный воздушный блок выполнен с возможностью улавливания больших количеств газообразного вещества, такого как диоксид углерода, и их сброса вниз к указанному невоздушному блоку, где они могут быть безопасно пойманы. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздушный блок может представлять собой высотный аэростат, выполненный с возможностью сброса больших количеств уловленного диоксида углерода, чтобы обеспечить возможность улавливания большей массы диоксида углерода за один вылет, тем самым сокращая потребность в регулярном обслуживании и продолжительность пребывания на земле.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления разделение газообразного вещества, такого как диоксид углерода, с окружающим воздухом может быть выполнено с применением нескольких технологий и методов, таких как: охладители, холодильники, морозильники, тепловые насосы, нагнетательные насосы, компрессоры, мембраны, разделение с применением химических средств или катализаторов, разделение с помощью биологических ферментов и т. д. Такие технологии и способы применяют для увеличения скорости, с которой CO₂ улавливают из окружающего атмосферного воздуха.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система улавливания газообразного вещества выполнена с возможностью применения низких температур окружающей среды и сильных ветров, которые циркулируют в окружающей атмосфере. Система улавливания газообразного вещества дополнительно выполнена с возможностью предотвращения разбавления диоксида углерода в поступающем воздушном потоке, поскольку, хотя плотность воздуха в верхней тропосфере и нижней стратосфере снижена, объемная концентрация диоксида углерода не намного ниже и имеет почти такие же значения, как и на уровне моря. Таким образом, описанный выше способ улавливания углерода может быть задействован на больших высотах над уровнем моря.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система улавливания газообразного вещества выполнена с возможностью сбора газообразного вещества непосредственно из атмосферы (при этом предпочтительным улавливаемым газом может быть диоксид углерода) в целях смягчения последствий изменения климата и повторного применения газообразного вещества. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система может быть основана на фазовом переходе диоксида углерода при низких температурах, например, в диапазоне от минус 100 °С до минус 10 °С, и при повышенном давлении, например, в диапазоне от 0,2 бар до 10 бар.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления для удаления огромных количеств CO₂ непосредственно из окружающего воздуха без чрезмерных затрат энергии, без применения опасных или дефицитных ресурсов и полностью масштабируемым образом, предложено применение высотных носителей, оборудованных компрессорами.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления после выделения диоксида углерода из воздушного потока его можно хранить или применять впоследствии в соответствии с различными потребностями или ограничениями. Например, выделенный диоксид углерода можно сжижать/приводить в твердое состояние и хранить в таком средстве для хранения, как контейнеры высокого давления, при этом упомянутые контейнеры могут быть изготовлены из любого известного материала, такого как композитные материалы с углеродными волокнами, алюминий, полимеры и т. д.

Теперь обратимся к **фиг. 1**, на которой схематично показан воздушный блок **100** и невоздушный блок **200** системы **10** улавливания газообразного вещества. Как показано, система **10** улавливания газообразного вещества может включать в себя два основных блока — воздушный блок **100** и невоздушный блок **200**. Воздушный **100** может представлять собой, например, высотный аэростат или любой другой воздушный носитель, выполненный с возможностью полета на больших высотах, таких как высоты 5–15 км, при этом стандартные температуры на этих высотах обычно составляют около минус 50 °С, а плотность воздуха составляет примерно 10–30% от плотности на уровне моря.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления высотный аэростат, который действует как воздушный блок **100**, может быть наполнен гелием, газообразным водородом, горячим воздухом или любым другим известным веществом, применяемым для создания подъемной силы в воздухе. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздушный блок **100** может быть привязан к невоздушному блоку **200** или не привязан к нему.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздушный блок **100** может представлять собой любой известный летательный аппарат или платформу, например, летательный аппарат с двигателями (двигателем внутреннего сгорания, реактивным двигателем, двигателем на солнечной или электрической энергии), планирующий летательный аппарат (такой как воздушный змей, планер и т. д.) или аэростат (такой как дирижабль, аэростат и т. д.). В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздушный блок **100** может быть реализован на базе существующего летательного аппарата, например, воздушный блок **100** может быть переоборудован так, чтобы самолет коммерческой авиации мог нести его на любой части фюзеляжа, крыльев или двигателей. Воздушный блок **100**, установленный на летательном аппарате, может дополнительно прибегать к помощи уже существующих систем, например, в качестве замены встроенного средства **102** разделения газов (описано ниже) для работы блока может быть задействован встроенный компрессор двигателя летательного аппарата.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления средство **102** разделения газов может включать в себя компрессор, насос или любое известное устройство для повышения давления, выполненное с возможностью его несения воздушным блоком **100** и сжатия окружающий воздух при высокой скорости потока до давлений, которые примерно на 5–10 бар превышают давление окружающего воздуха. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления как указано выше, отделение диоксида углерода от окружающего воздуха с помощью устройства **102** разделения газов может быть достигнуто с помощью различных технологий и/или способов, таких как: охлаждение, тепловой насос,

несколько насосов/компрессоров, мембранное разделение, разделение с применением химического средства, такого как катализаторы, разделение с помощью биологических ферментов и т. д. Такие технологии и способы могут применять для увеличения скорости, с которой улавливают углерод из окружающего атмосферного воздуха, снижения затрат энергии, требуемых для улавливания CO₂ и т. д.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления и поскольку для большой высоты обычно является свойственным сильный ветер, для отделения CO₂ от воздушного потока, поступающего в средство 102 разделения газов, может быть задействовано значительное динамическое давление, вызванное упомянутым сильным ветром на большой высоте, для работы на которой предназначен воздушный блок 100. Например, в средстве 102 разделения газов, расположенном на воздушном блоке 100, для фильтрации входящего воздушного потока и получения отфильтрованного воздуха с концентрацией CO₂, повышенной по сравнению с концентрацией азота или других газов, могут быть применены различные типы мембран. Упомянутая повышенная концентрация CO₂ может быть на порядок выше (x10) относительно концентрации CO₂ в окружающем воздушном потоке, следовательно, задействование ветра для разделения газообразного вещества может значительно повысить эффективность упомянутого процесса за счет снижения потребности вести входящий поток воздуха.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления поскольку средство 102 разделения газов воздушного блока 100 выполнено с возможностью работы на большой высоте, большая часть энергии, обычно расходуемая для сжатия окружающего воздуха на высоте поверхности земли, как правило, не требуется. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления сжатый воздух после отделения содержащегося в нем CO₂ может быть задействован далее за счет накопленной потенциальной энергии. Например, потенциальная энергия, накопленная в сжатом воздухе, может быть применена непосредственно для дополнительного сжатия воздушного потока или опосредованно для питания различных электрических/механических систем, что обеспечивает дополнительную экономию энергии/массы.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления для повышения эффективности улавливания диоксида углерода в воздушном блоке 100 могут быть параллельно применены несколько средств 102 разделения газа, например, средство 102 разделения газа может представлять собой несколько компрессоров, разделенных последовательно/на несколько ступеней, чтобы обеспечить эффективное сжатие и разделение газообразного вещества.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления указанные вещества могут

быть применены для улавливания CO₂ или отделения CO₂ и могут быть реализованы в средстве 102 разделения газов для увеличения количества CO₂, доступного для разделения. Упомянутые вещества могут представлять собой, например, MOF, ZIF или любые другие известные сорбенты для улавливания углерода, и могут быть выполнены в виде тонких пленок и получены с помощью различных химических процессов, таких как технологии наноосаждения — атомно-слоевое осаждение (ALD), химическое осаждение из газовой фазы (CVD), физическое осаждение из газовой фазы (PVD), осаждение при угле скольжения и т. д.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления по меньшей мере одно средство 106 хранения, например, резервуар(-ы) со сжатым газом, выполнено с возможностью хранения отделенного газообразного вещества, такого как CO₂, в жидкой, твердой или газообразной форме после того, как оно было извлечено из потока сжатого воздуха.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления для максимального повышения эффективности извлечения CO₂ воздушным блоком 100 и обеспечения максимального сбора газообразных веществ в условиях дефицита ресурсов и ограничений, а также для обеспечения большей длительности пребывания в воздухе до того, как воздушному блоку 100 потребуется приземлиться, система 10 улавливания газообразного вещества может быть выполнена с возможностью отделения заполненных газовых емкостей, предназначенных для безопасного приземления на указанный невоздушный блок(-и) или на предварительно заданные наземные/водные объекты для дальнейшего применения.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система 10 улавливания газообразного вещества дополнительно включает в себя специальный механизм (не показан), выполненный с возможностью контролируемого отделения по меньшей мере одного средства 106 хранения, которое может представлять собой емкость со сжатым газом. Например, средство управляемого отделения может быть выполнено с возможностью отсоединения средства 106 хранения после того, как оно будет заполнено газообразным веществом, чтобы избавиться от лишней массы находящийся в воздухе носитель. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления средство 106 для хранения выполнено с возможностью отделения и падения вниз к указанному невоздушному блоку, где оно может быть безопасно поймано и собрано.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления средство 106 для хранения может представлять собой свободно падающую емкость(-и), выполненную с возможностью сброса/отделения от воздушного блока 100 с применением вышеупомянутого специального

механизма отделения или, в качестве альтернативы, падения управляемым образом. Для обеспечения возможности коррекции траектории средство 106 хранения может включать в себя применение парашютов, крыльев для планирования, воздушных винтов, газовой инжекции или реактивных двигателей или любых других известных средств изменения курса/навигации.

Согласно некоторым вариантам осуществления, контроллер 104 дополнительно выполнен с возможностью обеспечения общего оперативного управления системой 10 улавливания газообразного вещества. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления контроллер 104 может быть расположен на воздушном блоке 100, на невоздушном блоке 200 или может быть расположен в каком-либо другом месте, например, на удаленном сервере или в составе платформы облачных вычислений. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления контроллер 104 выполнен с возможностью обеспечения управления навигацией воздушного блока 100, при этом упомянутое управление навигацией может осуществляться автоматически или вручную пользователем, который контролирует работу системы 10 улавливания газообразного вещества.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздушный блок 100 может дополнительно включать в себя двигатели/средства изменения курса (не показаны), которые могут представлять собой любой известный двигательный компонент, выполненный с возможностью обеспечения управляемого развертывания в воздухе воздушного блока 100. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления контроллер 104 может управлять двигателями/средствами изменения курса, которые могут представлять собой реактивные двигатели, ракетные двигатели, закрылки, воздушные винты любого типа или любые другие известные средства приведения в движение.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система 10 улавливания газообразного вещества дополнительно включает в себя средства связи (не показаны), выполненные с возможностью обеспечения надежного и быстрого коммуникационного канала между воздушным блоком 100 и невоздушным блоком 200. Например, система связи, работой которой может управлять контроллер 104, может подавать навигационные команды воздушному блоку в соответствии с различными потребностями или ограничениями, а управление может осуществляться либо автоматически, либо вручную пользователем, который контролирует работу системы 10 улавливания газообразного вещества.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления система 10 улавливания газообразного вещества дополнительно включает в себя источник 108 энергии, который может представлять собой резервуар/аккумуляторную батарею, резервуар для водорода

(который можно одновременно применять для создания подъемной силы), солнечные панели/краски/пленки, ветряные турбины (для задействования сильного ветра в окружающем воздухе), ядерные генераторы энергии, термоядерные источники энергии в сочетании с термоэлектрическими элементами и т. д. Согласно некоторым вариантам осуществления, привязной провод, соединенный с поверхностью земли, невоздушным блоком 200 или с другим находящимся в воздухе носителем, может обеспечивать энергию, необходимую для работы воздушного блока 100. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления источники энергии, применяемые для обеспечения питания системы 10 улавливания газообразного вещества, имеют углеродную нейтральность или близки к ней, чтобы не противоречить основной цели извлечения диоксида углерода.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздушный блок 100 может быть выполнен с возможностью разворачивания в относительном положении, которое позволяет обеспечить постоянную или почти постоянную доступность энергии, или позволяет создать для воздушного блока 100 улучшенные условия улавливания газообразного вещества, причем этого можно достичь за счет адаптивного изменения высоты/положения воздушного блока 100, позволяющего задействовать различные направления ветра или условия солнечного излучения. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления для изменения относительного расположения воздушного блока 100 может быть применено средство приведения в движение и/или средство навигации/изменения курса, как описано ранее.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления конечным продуктом системы 10 улавливания газообразного вещества может быть диоксид углерода высокой чистоты, предназначенный либо для хранения, либо для повторного применения в таких областях, как сельское хозяйство, пищевая промышленность, исследования, производство синтетического топлива с близким к нейтральности уровнем выбросов и т. д.

Теперь обратимся к фиг. 2, где схематически показан невоздушный блок 200 системы 10 улавливания газообразного вещества (описанный ранее). Как показано, указанная посадочная площадка 202, которая может представлять собой любую платформу для улавливания (например, батут), выполнена с возможностью обеспечения безопасной зоны для падений большой массы с высокой скоростью. Быстро падающее средство 106 хранения может приземляться на посадочную площадку 202 для последующего сбора посредством любого механического, роботизированного или ручного средства (не показано).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления невоздушный блок 200 может включать в себя специальный объект 204, выполненное с возможностью выполнения требований по техническому обслуживанию воздушного блока 100 и/или обработки по

меньшей мере одного средства 106 хранения после того, как оно было загружено газообразным веществом и уловлено с помощью посадочной площадки 202.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления невоздушный блок 200 может быть размещен на поверхности земли или на плавучей платформе в водоеме, либо, в альтернативном варианте, невоздушный блок 200 может быть размещен на подвижной платформе, такой как любое морское судно или наземное средство передвижения. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления после улавливания средства 106 хранения посадочной площадкой 202 и доставки средства 106 хранения на специальный объект 204, для дальнейшего хранения или применения собранного газообразного вещества могут быть задействованы технологические процессы, которые могут быть либо химическими, либо механическими.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления невоздушный блок 200 может дополнительно включать в себя причальную зону 206, выполненную с возможностью приема либо морских судов, либо наземных средств передвижения, чтобы позволить перенести уловленное газообразное вещество в другое место.

Теперь обратимся к фиг. 3 где показана блок-схема, описывающая возможные модули, которые образуют воздушный блок 100. Как показано, энергетический модуль 300 может представлять собой накопитель энергии, такой как аккумуляторная батарея, водородный топливный элемент, солнечная панель/краска/пленка, ветряная турбина, ядерный генератор или любой другой источник энергии, который не выделяет парниковых газов или не создает пониженные уровни парниковых газов.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления модуль 302 управления дополнительно выполнен с возможностью обеспечения общего оперативного управления системой 10 улавливания газообразного вещества и может включать в себя контроллер, расположенный на воздушном блоке 100, на невоздушном блоке 200 (не показан) или который может быть расположен в другом месте, например, на удаленном сервере или в составе платформы облачных вычислений. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления модуль 302 управления выполнен с возможностью формировать команды навигации/изменения курса для управления воздушным блоком 100, при этом упомянутое управление навигацией/изменением курса может осуществляться автоматически или вручную пользователем, который контролирует работу системы 10 улавливания газообразного вещества. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления модуль 302 управления выполнен с возможностью мониторинга различных параметров и операций, которые являются частью технологического процесса системы 10 улавливания газообразного вещества.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления модуль 304 разделения газов выполнен с возможностью отделения газообразного вещества, такого как диоксид углерода, от окружающего воздуха, что может быть выполнено с применением нескольких технологий и способов, таких как: одиночные/множественные насосы или компрессоры (или любое известное устройство для повышения давления), мембраны, разделение с помощью химических средств или катализаторов, разделение с помощью биологических ферментов и т. д.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления модуль 306 хранения газообразного вещества, такого как диоксид углерода, выполнен с возможностью хранения сжиженного/твердого вещества или газообразного вещества под высоким давлением по меньшей мере в одном контейнере высокого давления (средство 106 хранения, описанное ранее), при этом указанный контейнер может представлять собой свободно падающий контейнер, выполненный с возможностью сброса/отделения от воздушного блока 100 с применением упомянутого выше специального механизма отделения или, как альтернатива, падения управляемым образом. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления указанный контейнер высокого давления может включать в себя применение парашютов, крыльев для планирования, воздушных винтов, газовой инъекции, реактивных двигателей или любых других известных средств изменения курса/навигации для обеспечения возможности корректировки траектории.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления навигационный модуль 308 выполнен с возможностью обеспечения для воздушного блока 100 возможностей навигации и может включать в себя указанные навигационные компоненты, такие как GPS, датчики высоты/скорости и т. д., применяемые для определения точного местоположения, высоты и относительного положения воздушного блока 100. Навигационный модуль 308 может дополнительно применять базу данных о режиме ветра в определенном местоположении и на определенной высоте, с целью адаптировать работу воздушного блока 100 к изменяющимся погодным условиям. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления навигационный модуль 308 может быть отдельным модулем или может быть интегрирован в модуль 302 управления.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления двигательный модуль 310 выполнен с возможностью приведения воздушного блока 100 в требуемое положение/на требуемую высоту, при этом приведение в движение воздушного блока 100 можно осуществлять с применением реактивных двигателей, ракетных двигателей, закрылков, воздушных винтов любого типа или любых других известных средств приведения в движение.

Теперь обратимся к **фиг. 4А**, где показана фазовая диаграмма, изображающая фазовый переход диоксида углерода при относительно низких температурах и относительно высоких давлениях.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления для сжижения газа при температуре приблизительно минус 55 °С требуемое давление должно составлять приблизительно 6 атмосфер. Из-за упомянутого относительно высокого давления, требуемого для сжижения газа, сжижение газа, выполняемое на большой высоте, может представлять собой проблему для процесса улавливания углерода. Как показано, отделение диоксида углерода можно осуществлять путем сжижения или отвердевания. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления достижение любой точки ниже температуры тройной точки, составляющей около минус 56 °С, при наличии достаточно высокого давления приведет к отвердеванию диоксида углерода. И наоборот, повышение давления при температурах выше тройной точки, например, путем приложения давлений величиной 6–10 бар, приведет к сжижению диоксида углерода.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления во время работы системы **10** улавливания газообразного вещества может быть применено любое сочетание температуры и давления в пределах, обеспечивающих сжижение/затвердевание диоксида углерода.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления поскольку на большой высоте плотность воздуха составляет примерно одну треть от плотности окружающего воздуха на уровне моря, чтобы достичь диапазона, в котором происходит затвердевание/сжижение диоксида углерода, можно применять по меньшей мере одну ступень сжатия для увеличения давления входящего воздуха по сравнению с указанным обычным давлением на большой высоте (0,2–0,8 бар). Чтобы достичь упомянутого типового переходного давления величиной 6–10 бар, требуемое увеличение давления в конце всех ступеней сжатия может иметь коэффициент умножения от 3 до 50.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления когда достигнуты упомянутые уровни давления и обеспечена соответствующая температура (приблизительно минус 55 °С), вероятно, что последует сжижение CO₂, содержащегося в обрабатываемом поступающем воздухе. В качестве альтернативы, дальнейшее снижение температуры на 40°С–70 °С при одновременном воздействии на поступающий воздух достаточно высокого давления приводит, главным образом, к затвердеванию CO₂, содержащегося во входящем воздухе.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления изменения давления или температуры могут быть выполнены во время одной стадии сжатия/разделения или во

время нескольких стадий. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления в случае применения нескольких стадий сжатия/разделения в составе описанного выше процесса улавливания диоксида углерода, коэффициент производительности при охлаждении, который в некоторой степени представляет энергетическую эффективность, может быть выше.

Теперь обратимся к **фиг. 4В**, где показана комбинированная диаграмма, отображающая концентрации CO₂ в пробах окружающего воздуха, взятых на разных высотах (9–10 км) и при разных температурах. Как показано, на больших высотах объемная концентрация CO₂ остается почти неизменной, а именно, чуть ниже 400 ч/млн при аналогичном показателе на уровне моря в 411 ч/млн. Это может быть связано с тем, что сильные ветры обеспечивают постоянный поток воздуха и препятствуют уменьшению концентрации CO₂.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления большая высота над уровнем моря, с возможностью нахождения на которой выполнен воздушный блок **100**, представляет собой компромисс между низкими температурами, которые обеспечивают меньшее потребление энергии для достижения фазового перехода CO₂, и низкими общими давлениями, которые обуславливают повышение потребления энергии, необходимой для достижения давления, требуемого для фазового перехода CO₂ путем либо его сжижения, либо затвердевания. Как было замечено выше, концентрация CO₂ в окружающем воздухе на разных высотах остается примерно одинаковой и существенно не влияет на эффективность процесса отделения CO₂.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления как показано ранее, сжатие на входе воздуха, поступающего в средство 102 разделения, расположенное на воздушном блоке 100, который находится на большой высоте, до достижения давления в 6–10 бар, обеспечивает отделение CO₂ от входящего воздушного потока и его сохранение в жидкой/твердой форме внутри средства **106** хранения. Учитывая молярную объемную концентрацию газа в стандартных условиях (22,4 литра на моль), на большой высоте, где температурный диапазон составляет примерно минус 50 °С, а давление около 0,25 бар, молярная объемная концентрация газа составляет приблизительно 70 литров на моль (22,4 л/моль, умножить на (223 °С/273 °С) с поправкой на температуру и на (101,3 кПа/26,5 кПа) с поправкой на давление, что дает 70 л/моль).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления при концентрации CO₂ в 400 ч/млн и молярной массе 44 г/моль необходимо сжать 70×2500 (2500 является величиной, обратной 400 ч/млн) литров, чтобы получить один его моль (или 44 грамма). Согласно вышеизложенному для производства одной тонны CO₂ необходимо сжать

примерно 4 миллиона кубических метров окружающего воздуха.

В настоящее время простые и недорогие компрессоры достигают показателей расхода, измеряемых несколькими кубическими футами в минуту или несколькими литрами в секунду. Соответственно, чтобы достичь уровня метрической тонны в день, потребуется параллельная работа нескольких компрессоров.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления можно сжимать воздух, движущийся со скоростью 100 км/ч, которая является типичной для высотного ветра, через отверстие определенного диаметра, чтобы достичь высокой производительности, например, расход 4 млн м³ в пределах периода менее суток.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления чтобы представить общее решение проблемы изменения климата и предполагая, что каждый воздушный блок 100 способен обрабатывать около одной метрической тонны CO₂, улавливаемого за сутки, то для улавливания всего избыточного CO₂, выброшенного в атмосферу в 2018 году, гипотетическая система **10** улавливания газообразного вещества должна состоять из 54 млн воздушных блоков **100**. Учитывая, что стоимость каждого воздушного блока **100** составляет 100 000 долларов США в год, полное решение по улавливанию ежегодных глобальных выбросов CO₂ обойдется около 5 000 миллиардов долларов США. Эта оценка не только намного ниже любой известной альтернативы, но и значительно ниже ожидаемого экономического ущерба, связанного с изменением климата. Для справки, Международная группа экспертов по изменению климата (IPCC) заявила, что ей требуется 13 000 миллиардов долларов США, чтобы обратить вспять тенденцию к увеличению выбросов углерода и снизить их на 10 миллиардов тонн CO₂. То есть дороже более чем в два раза при менее чем половинном результате.

Теперь обратимся к **фиг. 5**, где показан линейный график, отображающий разности температур, которые влияют на фазовый переход CO₂, основанный на стандартных данных США об атмосфере. В частности, указанный линейный график представляет разницу температур, влияющую на инициирование фазового перехода уловленного CO₂, в соответствии со снижением температуры, которое связано с увеличением высоты над уровнем моря, и пониженным/повышенным давлением.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления в инверсионном слое (не показан, обычно находится на высотах 11–13 километров над уровнем моря, но потенциально в экваториальных или полярных регионах может выходить за пределы этих значений) требуемая разность температур уменьшается по всем трем линиям, и следовательно, инверсионный слой представляет собой идеальную высоту для осуществления разделения газов на большой высоте. В соответствии с некоторыми

вариантами осуществления температура окружающей среды в упомянутом инверсионном слое составляет приблизительно минус 50 °С, а давление окружающего воздуха составляет приблизительно 0,3 бар. Это означает, что для отделения CO₂ за счет его отвердевания требуется снижение примерно на 40 °С, как видно на **фиг. 4**, где показано, что точка замерзания CO₂ при давлении 0,3 бар составляет приблизительно минус 90 °С.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления и как часть допущения о том, что идеальной высотой для процесса разделения газов является инверсионный слой или его окрестности, могут быть приняты во внимание некоторые дополнительные параметры. Из-за повышенного давления окружающего воздуха, обнаруженного в упомянутом инверсионном слое, могут быть задействованы различные способы разделения газообразных веществ с применением технологических процессов физического и химического разделения. Например, применение молекулярных сит, таких как металлоорганические каркасы (MOF), цеолиты или другие определенные вещества, может обеспечить преимущество с точки зрения эффективности разделения газов при более высоких давлениях, возникающих в инверсионном слое или вблизи него.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления описаны разности температур, требуемые на заданной высоте для осуществления процедуры разделения газов, в соответствии со стандартными характеристиками атмосферы США:

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления оценочный расчет либо охлаждения воздуха до температуры замерзания CO₂, либо его сжатия до жидкой/твердой формы представлен следующим образом: Для охлаждения поступающего воздуха в процессе работы системы 10 улавливания газообразного вещества требуется низкая температура воздуха с достаточной массой CO₂. Например, чтобы охладить $m_{CO_2} = 100$ кг приблизительно на 40 °К ниже температуры окружающего воздуха, потребуется $M_{tot} \cdot C_{air} \cdot (40^\circ\text{K})$, где C_{air} составляет приблизительно 0,71 кДж/кг, тогда затраты энергии составят $7 \cdot 10^6$ кДж, или за период в 12 часов — 160 кВт. Кроме того, энтальпия сублимации (скрытая теплота) составляет приблизительно 590 кДж/кг, то есть это означает, что для фазового перехода требуются дополнительные 1,5 кВт, хотя эту мощность можно считать пренебрежимо малой по сравнению с общей энергией, необходимой для охлаждения.

Согласно второму закону термодинамики, эффективность охлаждения ограничена так, что для удаления приблизительно 160 кВт тепла из определенной массы воздуха и обеспечения идеального коэффициента производительности $CoP = \frac{T_c}{T_h - T_c} \cong 4.5$ (при температуре замерзания минус 90 °С или 183 °К и начальной температуре минус 50 °С, или 223 °К, введенной в уравнение как T_c для более низкой температуры и как T_h для более

высокой температуры), предложенный расчет показывает возможность на каждый ватт, затрачиваемый на отвод тепла, удалять примерно 4,5 Вт из охлажденного воздуха за счет одноступенчатого охлаждения при максимальной разнице температур, при этом несколько ступеней охлаждения повышают эффективность упомянутого процесса охлаждения в соответствии с уменьшением перепадов температур. Полагая, что в среднем для многоступенчатого охлаждения требуется примерно 2 Вт мощности, в результате требуемая энергия составляет приблизительно 80 кВт.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления вышеупомянутые требования по мощности могут быть обеспечены за счет задействования площади поверхности воздушного блока **100**. Например, в условиях применения технологии коммерчески доступных пленок на основе пластмасс для улавливания солнечной энергии, на воздушном блоке **100**, имеющем радиус около 10 м и площадь поверхности около 200 м², доступной в данный момент для выработки энергии, может быть достигнута плотность выработки электроэнергии в 100 Вт_{пик}/м². Упомянутая площадь поверхности, покрытая пленками для улавливания солнечной энергии, позволяет производить примерно 40 кВт мощности, что представляет собой минимально достаточную энергию при очень высоких значениях COP (коэффициента производительности).

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления воздух, перерабатываемый воздушным блоком **100**, может быть охлажден до температуры заморозания CO₂, а уловленный CO₂ можно хранить в средстве **106** хранения. CO₂ может быть заморожен путем понижения его температуры до диапазона от минус 80 °С до минус 100 °С, в зависимости от давления окружающего воздуха. Поскольку температура окружающего воздуха на больших высотах, с возможностью нахождения на которых выполнен воздушный блок **100**, составляет около минус 50 °С, потенциальный охлаждающий компонент воздушного блока **100** может обычно работать с показателем эффективности цикла Карно в пределах от приблизительно 3,5 до приблизительно 6,4 [$COP < T_c / (T_h - T_c)$] при пониженном давлении воздуха и результирующем фазовом переходе при температуре минус 100 °С (при этом значения в °К, введенные в уравнение COP: 173 °К для более низкой температуры и 223 °К для более высокой температуры), тогда величина результирующего COP равна $173 / (223 - 173) = 3,46$, а при повышенном давлении воздуха и требуемой температуре минус 80 °С или 193 °К COP равен $193 / (223 - 193) = 6,43$].

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления для преодоления скрытой теплоты сублимации, которая может образовываться как часть процесса охлаждения воздуха, необходимо затратить по меньшей мере 200 Дж на каждый грамм CO₂, то есть это означает, что для преодоления выделяющегося скрытого тепла при скорости один грамм в

секунду необходимо отводить 200 Вт тепла. В соответствии с вышеизложенным и без учета всех других потребностей в энергии верхний предел скорости замерзания CO₂ (при потребляемой мощности 1 кВт) будет составлять 17,5 г в секунду (756 кг в течение 12 часов). Отбрасывая по обоснованному предположению 20% этой приблизительной эффективности, мы получаем, что 1 кВт входной мощности достаточно для обеспечения фазового перехода примерно 3 граммов CO₂ в секунду.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления при работе воздушного блока **100** могут быть задействованы дополнительные технологии улавливания с применением веществ, обладающих высокой аффинностью к CO₂, которые включают в себя, помимо прочего, металлоорганические каркасы (MOF). Применение таких технологий повысит склонность CO₂ к образованию центров кристаллизации и потребует охлаждения меньшего объема воздуха.

Теперь обратимся к **фиг. 6А и 6В**, где показан линейный график, иллюстрирующий поглощающую способность сорбентов для улавливания углерода, имеющих высокую аффинность к CO₂, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения. Как показано, на **фиг. 6А** представлена поглощающая способность и динамика абсорбции CO₂ в цеолитах с учетом различных давлений. На **фиг. 6В** представлены абсорбционные свойства для CO₂ конкретного соединения MOF (ZIF-8) при разных температурах и давлениях. Результаты, приведенные на **фиг. 6А и 6В**, позволяют предположить, что в случае применения вышеупомянутых материалов эффект от понижения температур, влияющий на эффективность поглощения CO₂ вышеупомянутыми веществами, более выражен, чем эффект от изменения значений давления. Другими словами, способность вышеупомянутых веществ поглощать CO₂ резко возрастает, когда температура падает до средней температуры инверсионного слоя, как было описано ранее.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления в случае применения других веществ и при других обстоятельствах различные перепады давления, необходимые для адсорбции и десорбции определенного отделенного газа, могут быть более выраженными. В этих и других случаях развертывание воздушного блока **100** на более низкой высоте с повышенной температурой окружающей среды и повышенным давлением воздуха или, в качестве альтернативы, развертывание воздушного блока **100** на большей высоте, как правило, при аналогичной температуре, но с более низким атмосферным давлением, может оказать критическое влияние на эффективность абсорбции процесса разделения газов, осуществляемого воздушным блоком **100**. Следовательно, для некоторых применений и вариантов осуществления процесс разделения газов может быть выполнен при температуре окружающей среды, составляющей примерно минус 10 °С, и на типовой высоте

приблизительно в 5 км над уровнем моря. В качестве альтернативы и в соответствии с некоторыми вариантами осуществления на большей высоте, составляющей примерно 15 км, давление может упасть примерно до 0,2 бар, что все еще делает возможным процесса разделения газа с тем преимуществом, что уменьшается количество энергии, требуемой для снижения давления в ходе процессов десорбции.

Хотя настоящее изобретение было описано со ссылкой на конкретные варианты осуществления, это описание не следует рассматривать с точки зрения наложения ограничений. При ознакомлении с описанием изобретения специалистам в данной области техники станут очевидными различные модификации описанных вариантов осуществления, а также альтернативные варианты осуществления указанного изобретения. Поэтому предполагается, что прилагаемая формула изобретения будет охватывать такие модификации, которые входят в объем данного изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система улавливания газообразного вещества, включающая в себя:
 - (i) по меньшей мере один воздушный блок, выполненный с возможностью нахождения в воздухе;
 - (ii) по меньшей мере один невоздушный блок;
 - (iii) по меньшей мере одно средство разделения газа, выполненное с возможностью его несения воздушным блоком;
 - (iv) средство хранения, выполненное с возможностью его несения воздушным блоком;
 - (v) контроллер, выполненный с возможностью управления работой системы; и
 - (vi) источник энергии, выполненный с возможностью обеспечения работы системы,причем по меньшей мере одно средство разделения газа выполнено с возможностью отделять от воздуха по меньшей мере одно указанное газообразное вещество;
причем по меньшей мере одно отделенное газообразное вещество выполнено с возможностью его хранения в средстве хранения; и
причем воздушный блок выполнен с возможностью переноса хранимого газообразного вещества в невоздушный блок.
2. Система по п. 1, в которой по меньшей мере одно средство разделения газов является действующим, когда воздушный блок находится в воздухе, на высоте в диапазоне 5–15 км.
3. Система по п. 1, в которой средство разделения газов включает в себя по меньшей мере одно устройство повышения давления.
4. Система по п. 1, в которой средство разделения газов включает в себя химические катализаторы, выполненные с возможностью применения процедуры разделения газов.
5. Система по п. 4, в которой химические катализаторы основаны на сорбентах диоксида углерода.
6. Система по п. 1, в которой средство разделения газов содержит биологические ферменты, выполненные с возможностью применения процедуры разделения газов.
7. Система по п. 1, в которой воздушный блок представляет собой высотный аэростат.

8. Система по любому из пунктов 1 или 0, в которой воздушный блок выполнен с возможностью привязывания к невоздушному блоку.
9. Система по любому из пунктов 1 или 7, в которой воздушный блок дополнительно включает в себя средство самостоятельного изменения курса.
10. Система по п. 1, в которой воздушный блок выполнен с возможностью переоснащения для его несения летательным аппаратом.
11. Система по п. 10, в которой воздушный блок интегрирован в средство для приведения в движение летательного аппарата.
12. Система по п. 1, в которой средство хранения представляет собой по меньшей мере один контейнер со сжатым газом.
13. Система по п. 0, в которой по меньшей мере один контейнер со сжатым газом выполнен с возможностью отделения от воздушного блока и достижения невоздушного блока.
14. Система по п. 13, в которой невоздушный блок включает в себя указанную посадочную площадку, выполненную с возможностью улавливания по меньшей мере одного контейнера со сжатым газом.
15. Система по п. 12, в которой по меньшей мере один контейнер со сжатым газом включает в себя средство наведения, выполненное с возможностью проведения по меньшей мере одного контейнера со сжатым газом от воздушного блока к невоздушному блоку.
16. Система по п. 1, в которой невоздушный блок выполнен с возможностью применения хранимого указанного газообразного вещества, уловленного воздушным блоком.
17. Система по п. 1, в которой невоздушный блок выполнен с возможностью его размещения на поверхности земли.
18. Система по п. 1, в которой невоздушный блок выполнен с возможностью его размещения на поверхности водоема.
19. Система по п. 18, в которой невоздушный блок дополнительно включает в себя причальную зону.
20. Система по п. 1, в которой невоздушный блок выполнен с возможностью его размещения на судне.
21. Система по п. 1, в которой контроллер дополнительно выполнен с возможностью формирования навигационных команд для управления воздушным блоком.
22. Система по п. 1, в которой средство разделения газов дополнительно

- включает в себя воздушный компрессор, выполненный с возможностью повышения давления протекающего внутри воздуха в пределах 6–10 бар выше давления окружающего воздуха.
23. Система по п. 1, в которой указанное газообразное вещество представляет собой диоксид углерода.
 24. Система по любому из пунктов 1 или 2, в которой находящийся в воздухе воздушный блок выполнен с возможностью задействования низких температур, имеющихся на больших высотах, для сжижения или отвердевания указанного газообразного вещества.
 25. Система по любому из пунктов 1 или 2, в которой по меньшей мере одно средство разделения газа, носимое находящимся в воздухе воздушным блоком, выполнено с возможностью задействования высотного ветра для применения давления входящего воздушного потока с целью разделения газа.
 26. Система по любому из пунктов 3 или 22, в которой потенциальная энергия, накопленная в сжатом воздухе, может быть дополнительно задействована системой улавливания газообразного вещества.
 27. Система по п. 23, в которой воздушный блок выполнен с возможностью улавливания диоксида углерода с применением процесса фазового перехода в диапазоне температур от минус 100° до минус 10° и диапазоне давлений 0,2–10 бар.
 28. Система по п. 1, в которой источник энергии основан на солнечной энергии.
 29. Система по п. 1, в которой источник энергии основан на энергии ветра.
 30. Система по п. 1, в которой источник энергии представляет собой накопитель для запасенной энергии.
 31. Система по п. 1, в которой источник энергии выполнен с возможностью питания воздушного блока с помощью проводного соединения.
 32. Способ улавливания газообразного вещества с помощью системы улавливания газообразного вещества, включающий в себя этапы:
 - (i) отделения по меньшей мере одного указанного газообразного вещества от воздуха с применением по меньшей мере одного средства разделения газов, носимого находящимся в воздухе воздушным блоком,
 - (ii) хранения по меньшей мере одного отделенного газообразного вещества в средстве хранения, носимого находящимся в воздухе

воздушным блоком,

(iii) переноса хранимого отделенного газообразного вещества в невоздушный блок.

33. Способ по п. 32, в котором по меньшей мере одно средство разделения газов является действующим, когда воздушный блок находится в воздухе, на высоте в диапазоне 5–15 км.
34. Способ по п. 32, в котором воздушный блок представляет собой высотный аэростат.
35. Способ по п. 0, в котором средство хранения выполнено с возможностью отделения от воздушного блока и достижения невоздушного блока.
36. Способ по п. 35, в котором невоздушный блок включает в себя указанную посадочную площадку, выполненную с возможностью улавливания по меньшей мере одного средства хранения.
37. Способ по п. 32, в котором средство хранения включает в себя средство наведения, выполненное с возможностью проведения средства хранения от воздушного блока к невоздушному блоку.
38. Способ по п. 32, в котором средство разделения газов дополнительно включает в себя воздушный компрессор, выполненный с возможностью повышения давления протекающего внутри воздуха в пределах 6–10 бар выше давления окружающего воздуха.
39. Способ по любому из пунктов 32 или 33, в котором находящийся в воздухе воздушный блок выполнен с возможностью задействования низких температур, имеющихся на больших высотах, для сжижения или отвердевания указанного газообразного вещества.
40. Способ по п. 32, в котором указанное газообразное вещество представляет собой диоксид углерода.
41. Способ по п. 40, в котором воздушный блок выполнен с возможностью улавливания диоксида углерода с применением процесса фазового перехода в диапазоне температур от минус 100° до минус 10° и диапазоне давлений 0,2–10 бар.
42. Способ по любому из пунктов 32 или 33, в котором по меньшей мере одно средство разделения газа, носимое находящимся в воздухе воздушным блоком, выполнено с возможностью задействования высотного ветра для применения давления входящего воздушного потока с целью разделения газа.

43. Способ по п. 38, в котором потенциальная энергия, накопленная в сжатом воздухе, может быть дополнительно задействована системой улавливания газообразного вещества.

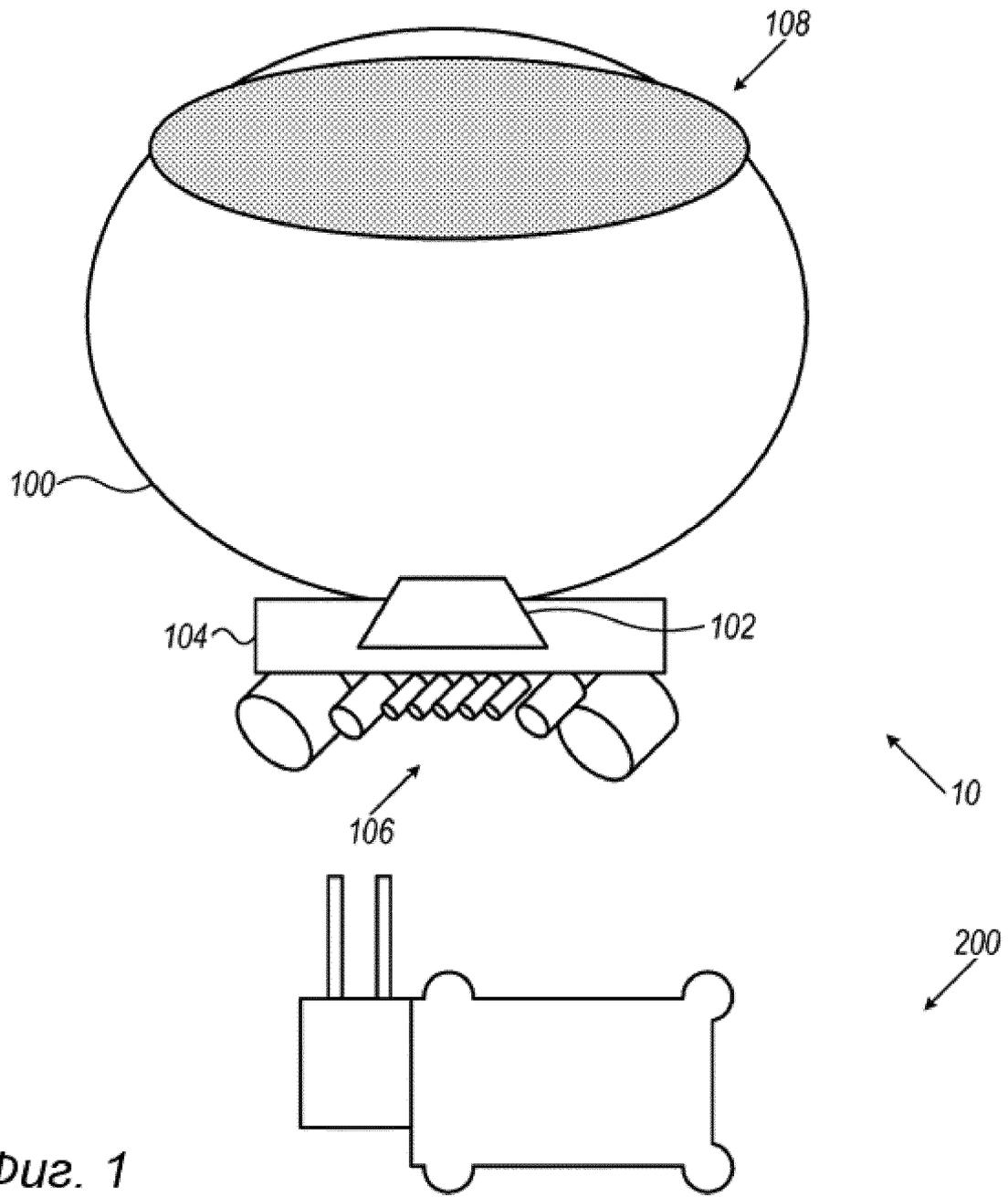


Fig. 1

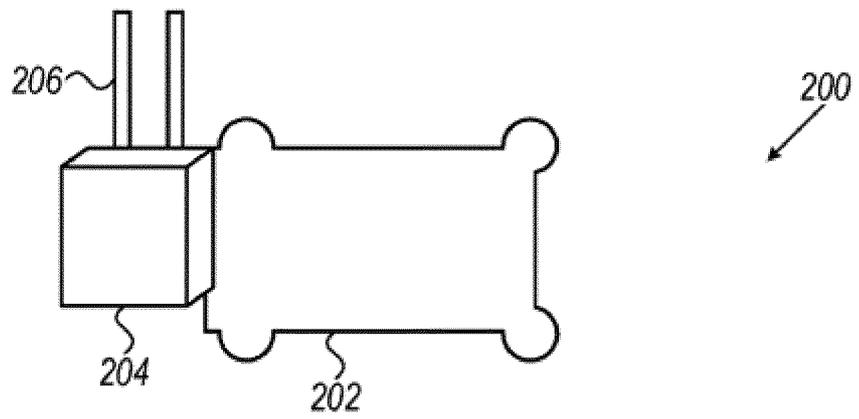
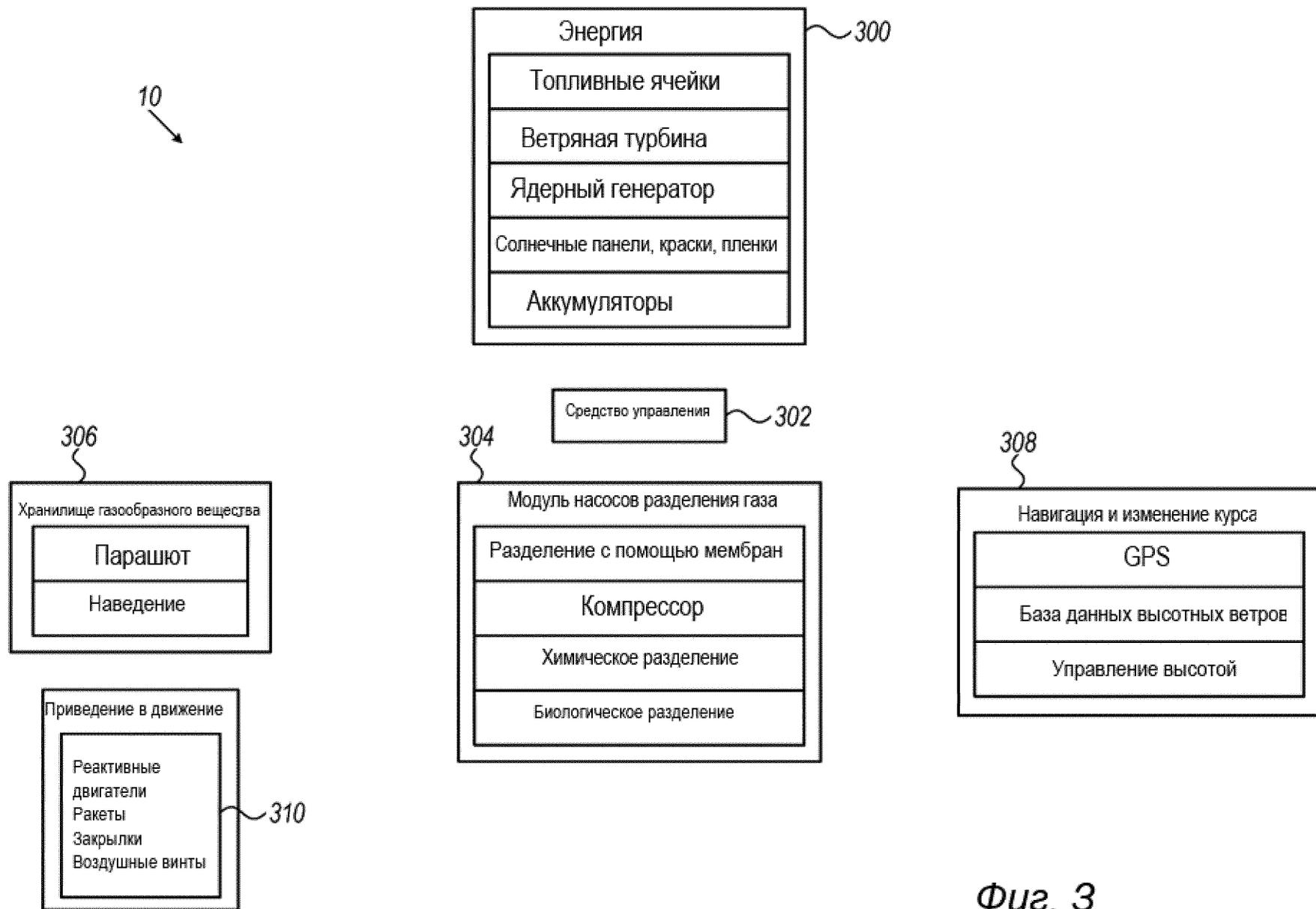
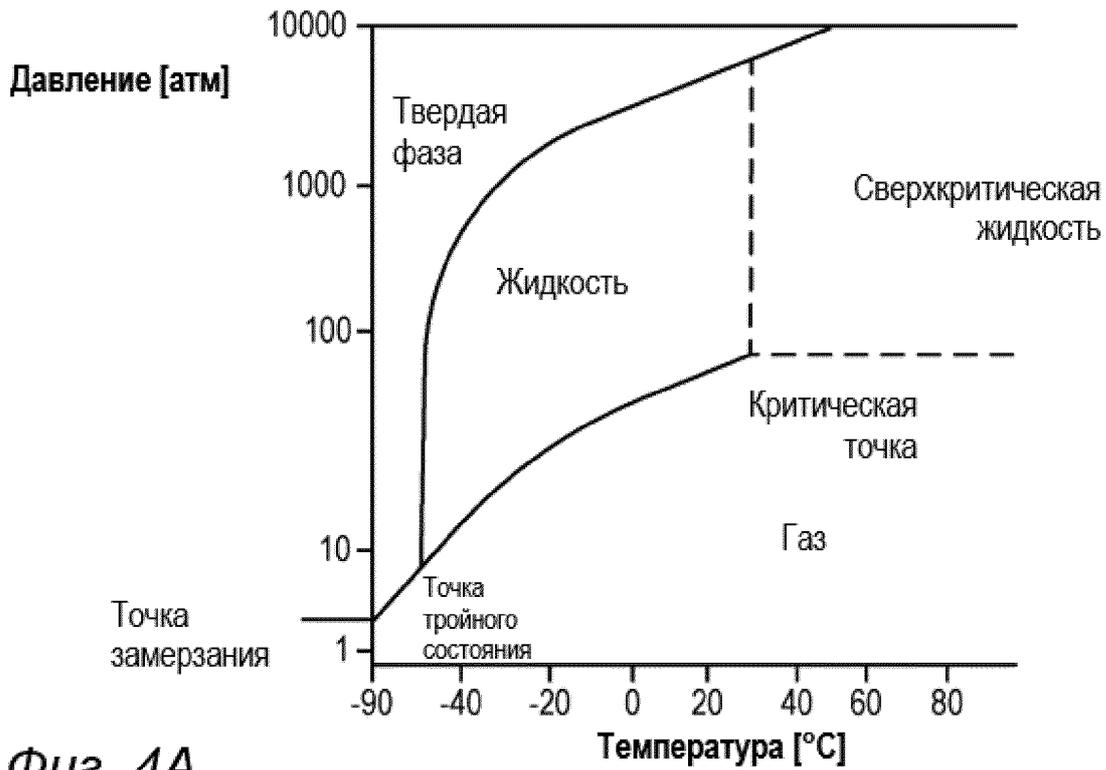


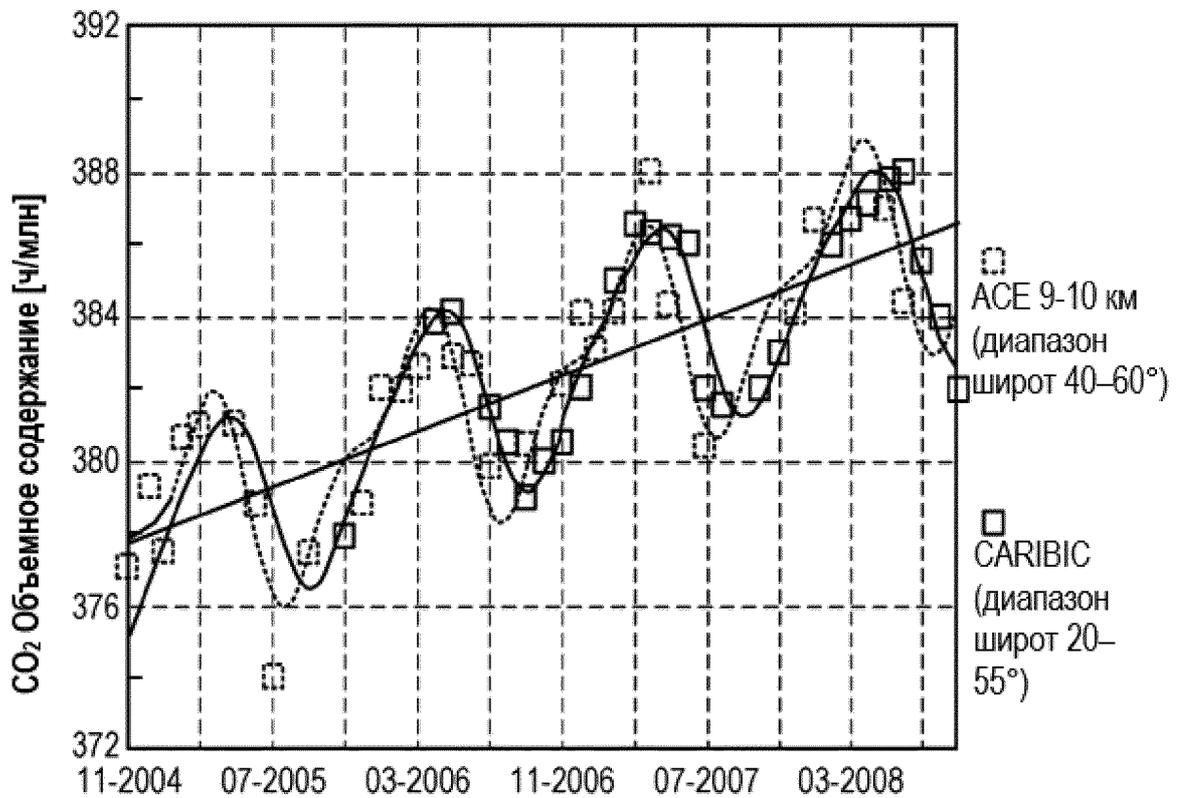
Fig. 2



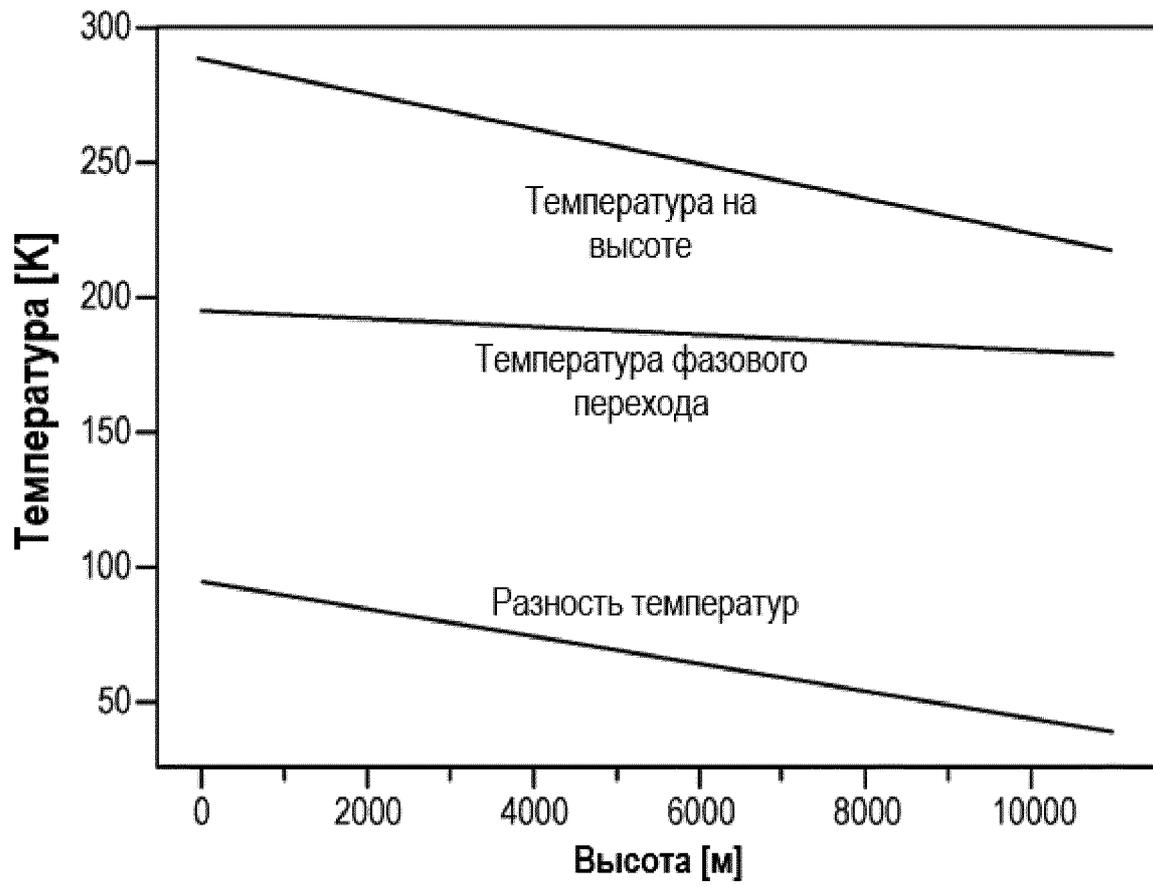
Фиг. 3



Фиг. 4А

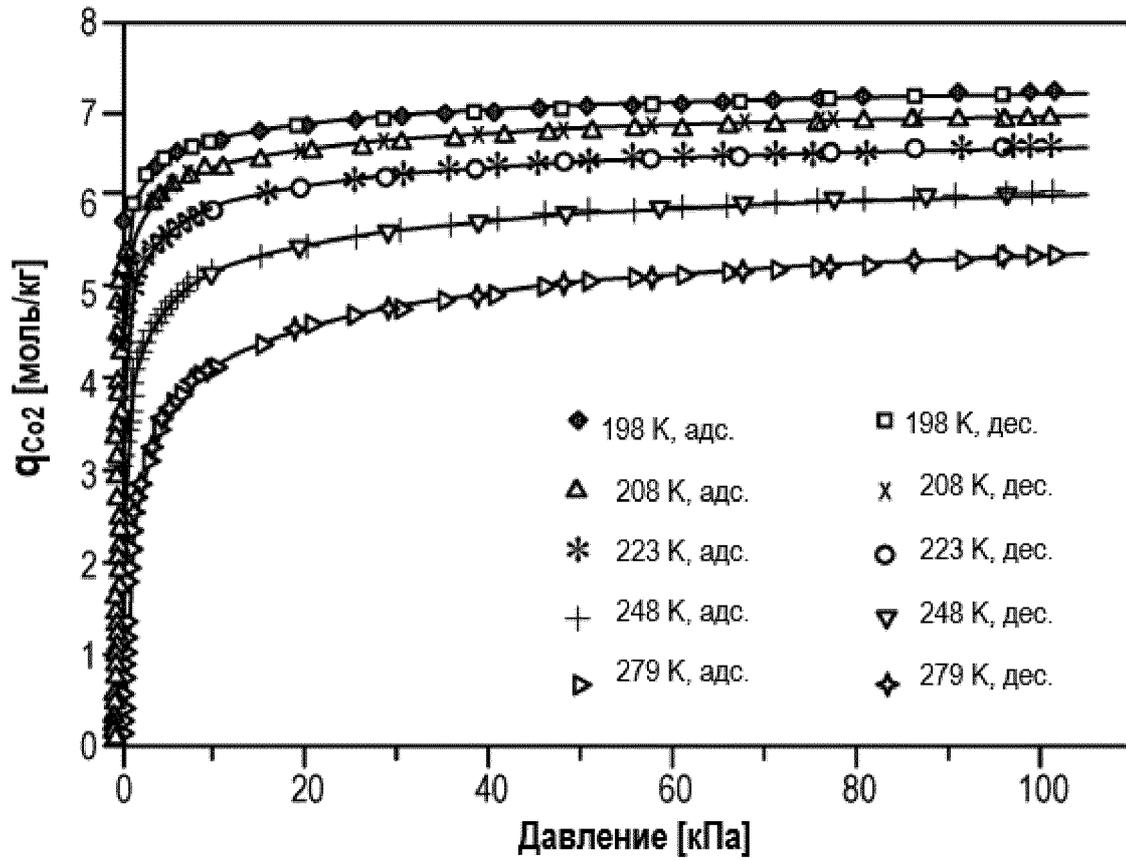


Фиг. 4В



Фиг. 5

Фиг. 6А



Фиг. 6В

