

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035940**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.09.03

(51) Int. Cl. **A01G 9/18** (2006.01)
A01G 9/24 (2006.01)

(21) Номер заявки
201990447

(22) Дата подачи заявки
2017.08.16

(54) **СИСТЕМА ДЛЯ КЛИМАТ-КОНТРОЛЯ В ЗАМКНУТЫХ ИЛИ ПОЛУЗАМКНУТЫХ ПРОСТРАНСТВАХ**

(31) **20161306**

(32) **2016.08.16**

(33) **NO**

(43) **2019.08.30**

(86) **PCT/NO2017/050204**

(87) **WO 2018/034570 2018.02.22**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ГРИНКЭП СОЛЮШЕНЗ АС (NO)

(56) **WO-A1-2011004596**
US-A1-2016157438
EP-A1-1908809
US-A1-2011203174
JP-A-2011094821
US-A1-2015282440
US-A1-2005199124
WO-A2-2013075981
WO-A2-2009105566

(72) Изобретатель:
Юхансен Том, Кристенсен Тор,
Шевеланн Ярле (NO)

(74) Представитель:
Хмара М.В., Липатова И.И.,
Новоселова С.В., Пантелеев А.С.,
Ильмер Е.Г., Осипов К.В. (RU)

(57) В изобретении предложены система и способ, предназначенные для оптимизации концентрации CO₂ в замкнутых или полужамкнутых пространствах. В состав системы входит комплекс (3), улавливающий CO₂ из наружного воздуха и содержащий два блока (134, 172), способных адсорбировать и десорбировать CO₂ на адсорбенте и функционирующих попеременно в режиме адсорбции и в режиме десорбции.

B1**035940****035940****B1**

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к способу повышения концентрации CO_2 в замкнутых пространствах (таких как теплицы и оранжереи), скомбинированному с кондиционированием воздуха и способному повысить уровень усвоения CO_2 растениями, а также ускорить процесс их роста и, в то же время, позволяющему избежать проблем, связанных со слишком высокой или слишком низкой относительной влажностью воздуха. Более конкретно, изобретение относится к интеграции способа очистки и процесса улавливания CO_2 из воздуха в сочетании с контролем температуры как по влажному, так и по сухому термометру, причем данный контроль обладает высоким КПД по энергии, а предлагаемая комбинация указанных способа, процесса и контроля не применяет каких-либо химикатов, разлагающихся под действием кислорода, и характеризуется высокоэффективным улавливанием CO_2 , экономией суммарной полезной энергии и, с системной точки зрения, отрицательным показателем высвобождения углерода.

Предшествующий уровень техники

Растения, выращиваемые в замкнутых или ограниченных зонах, таких как теплицы, будут поглощать CO_2 , уменьшая его содержание в окружающем воздухе. В результате концентрация CO_2 понижается, а скорость процесса роста растений тормозится. Это уменьшение может произойти очень быстро, в течение нескольких часов, даже если какое-то количество воздуха поступает в замкнутое или полузамкнутое пространство из окружающей среды. В то время как в атмосфере содержание CO_2 составляет примерно 400 миллионных долей (м.д.) общего объема, этот же параметр в хорошо вентилируемом полузамкнутом пространстве в типичной ситуации может находиться в интервале 300-330 м.д. При этом предполагается, что эффективность вентиляции достаточно велика, чтобы полностью заменять в полузамкнутом пространстве весь воздух один или два раза в 1 ч. Если вентиляция недостаточна, значения концентрации CO_2 заметно понижаются, смещаясь ниже 300-330 м.д. и приближаясь к 200 м.д., в результате чего процесс роста растений может быть фактически заблокирован. Когда температура в полузамкнутом пространстве отличается от температуры окружающего воздуха, требуемый свежий (вентиляционный) воздух необходимо подогревать, а это может оказаться весьма энергоемкой операцией.

Независимо от уровней эффективности вентиляции, в полузамкнутом пространстве повысить концентрацию CO_2 до уровня концентрации CO_2 в вентиляционном воздухе невозможно, не прибегая к обогащению воздуха CO_2 . При этом хорошо известно, что обогащение воздуха этим газом до уровня, на котором концентрация CO_2 в полузамкнутой системе не только достигает 400 м.д., но и превышает 1000 м.д., может существенно ускорить процесс роста растений и, в частности, на 20-80% или более повысить производство биомассы.

Испарение воды из растений в замкнутом или полузамкнутом пространстве повышает уровень влажности местного воздуха. Из общего количества влаги, потребляемой растением, примерно 90% расходуется на испарение, т.е. для процесса роста используется только 10%. Испарение охлаждает растение ниже температуры наружной среды на 2% или более. Скорость испарения представляет собой функцию, зависящую от нескольких факторов, в число которых входят радиационное поступление тепла и относительная влажность воздуха. В частности, испарение понижается в случае высокого уровня относительной влажности, близкого к насыщению местного воздуха парами воды. Если затем температура понижается, вода может оседать на листьях или в других местах растений, в результате чего возникает опасность возникновения грибковых заболеваний. Низкая относительная влажность (например, влажность ниже 50%) в комбинации с высокой температурой может привести к избыточным уровням испарения. В возможном варианте после этого в растении начнут перекрываться устья отверстий, через которые происходит испарение, и оно соответственно понизится. Однако поскольку, кроме того, через эти устья в растения поступает CO_2 , данный эффект может ограничить процесс их роста. Поэтому важно поддерживать относительную влажность местного воздуха если не на оптимальном, то хотя бы на приемлемом уровне.

Скорость процесса роста растений зависит от температуры местного воздуха, причем оптимальная температура зависит от вида растения и времени дня. Для большинства растений пригодна дневная температура 20-25°C, а оптимальный уровень ночной температуры может находиться в интервале 10-18°C. Во многих географических зонах, в которых широко применяются замкнутые или полузамкнутые системы производства биомассы, требуется круглогодичный подогрев.

Три важных регулируемых рабочих параметра, а именно концентрация CO_2 , относительная влажность и температура, часто регулируются более или менее независимо друг от друга, хотя они в высокой степени взаимозависимы. На фиг. 3 приведен пример воздействия CO_2 на скорость процесса роста, причем в данном случае допускается, что другие питательные вещества и свет отрегулированы с выведением на надлежащие уровни. В этом примере нормальная (принимаемая за стопроцентную) скорость роста достигается при уровне содержания CO_2 по объему 320 м.д. Если использовать другую терминологию, потребление CO_2 соответствует уровню 100 м.д. CO_2 в 1 ч или, в пересчете на объем 5000 м³, примерно 900 г CO_2 в 1 ч. По меньшей мере, для некоторых растений оптимальная скорость роста достигается, когда концентрация CO_2 составляет примерно 1000 м.д. Если используется вентиляция, воздух, выведенный из замкнутой системы, также будет содержать 1000 м.д. CO_2 , являясь, таким образом, источником эмиссии CO_2 .

CO₂ можно подавать посредством вентиляции, однако таким образом нельзя повысить его концентрацию выше концентрации CO₂ в атмосфере, составляющей примерно 400 м.д. Для поддержания концентраций CO₂ на уровнях, значительно превышающих 320 м.д., требуются высокие интенсивности вентиляции. В зонах с холодным климатом может быть существенной энергия, требуемая для подогрева вентиляционного воздуха. В зонах с очень теплым климатом может потребоваться охлаждать этот воздух. В таком случае может возникнуть ситуация, в которой, чтобы свести к минимуму образование водяного конденсата, из воздуха должна быть удалена влага. Следствием вентиляции является потеря водяного пара, образованного испарением, т.е. утрата 90% оросительной воды.

В обычной ситуации, чтобы повысить концентрацию CO₂, этот газ должен подаваться не из воздуха, а из других источников. К примерам такой подачи относится CO₂, поступающий в виде продукта сжигания ископаемых типов топлива (при этом, кроме того, вырабатывается тепло), из баллонов со сжатым CO₂, из сухого льда, в результате разложения органического вещества или в виде продукта ферментации. Если теплица вентилируется, а концентрация CO₂ поддерживается на уровне выше 400 м.д., все это вместе взятое приводит к нежелательному выбросу CO₂ в атмосферу.

В WO 2013/075981 описан способ экстрагирования CO₂ из воздуха посредством адсорбции и десорбции на твердом адсорбенте, функционализированном с использованием аминокислот. Таким образом повышается способность к адсорбции и уменьшается чувствительность адсорбента к влаге. Однако во время регенерации адсорбента аминокислоты подвергаются воздействию горячего воздуха с высокими концентрациями CO₂, вызывающему потенциальное разложение с образованием токсичных, а возможно и канцерогенных продуктов. Поэтому CO₂, полученный из таких источников, нельзя применять в замкнутом пространстве теплицы.

В теплицах относительную влажность можно регулировать посредством воздушной вентиляции. Однако это может негативно повлиять на концентрацию CO₂ в теплице, в особенности если используются повышенные концентрации CO₂. Кроме того, может оказаться существенной энергия, требуемая для подогрева вентиляционного воздуха. В зонах с теплым и влажным климатом понижение влажности посредством вентиляции может оказаться недостаточно эффективным. Как и в случае использования вентиляции для подачи CO₂, любое вентилирование с целью уменьшения количества паров воды в воздухе вызывает потерю водяного пара, образованного испарением, т.е. утрату примерно 90% оросительной воды.

Альтернативный вариант уменьшения содержания паров воды в воздухе внутри теплицы заключается в опрыскивании воздуха охлажденной водой. Соответствующее охлаждение может быть выполнено посредством циркуляции воды между распыляющим устройством, находящимся в помещении, и наружной зоной контакта с воздухом. Если наружный воздух не насыщен парами воды и не близок к такому насыщению, в контакте с ним некоторое количество воды будет испаряться. В результате вода охлаждается, после чего ее можно повторно использовать в распыленном виде для охлаждения внутреннего пространства теплицы. Однако, как и в варианте с удалением влаги посредством вентиляции, это приводит к потере потенциально полезной воды. К сожалению, распыление охлажденной водой не понижает относительную влажность воздуха. Несмотря на охлаждение и удаление паров воды из воздуха, он останется насыщенным данными парами, которые для растений могут оказаться вредными.

Для теплицы наилучший вариант контроля относительной влажности или содержания паров воды относительно содержания паров воды в условиях насыщения представляет собой комбинацию вентиляции и нагрева. Нагрев повышает содержание паров воды в воздухе в условиях насыщения, причем, поскольку это происходит без добавления этих паров в воздух, относительная влажность понижается. Однако в зонах с очень теплым климатом, в которых нагрев воздуха нежелателен, данный вариант может оказаться неприемлемым.

Нагревание воздуха теплицы может быть выполнено посредством электрического нагрева или за счет тепла, полученного путем сжигания ископаемых топлив. Во втором случае будет оказываться воздействие на содержание в воздухе теплицы CO₂, а также (хотя и в меньшей степени) на содержание в воздухе теплицы паров воды.

В глобальном масштабе проблемы, связанные с продовольственными ресурсами, возрастают. Ожидается, что к 2050 г. население Земли вырастет от примерно семи миллиардов (на 2012 г.) до уровня, превышающего девять миллиардов. Соответственно должны увеличиться и продовольственные ресурсы, причем без нанесения дальнейшего вреда окружающей среде. Это требование приходится выполнять в ситуации, в которой в результате глобального потепления снижается урожайность, причем в особенности в зонах с теплым климатом, где происходит наибольшее увеличение численности населения, сопровождаемое во многих из них значительным дефицитом воды из-за увеличения ее использования. В число решений этих проблем входит переход на режим питания, основанный на увеличении потребления растительной пищи, понижение уровней эмиссии CO₂, а также уменьшение потребления воды и всех разновидностей ископаемого топлива.

Задача, решаемая изобретением, состоит в разработке способа и в создании установки, которые обеспечивают возможность контролировать в теплице независимо друг от друга уровень содержания CO₂, температуру и относительную влажность, обеспечивая при этом минимальные или нулевые эмис-

сии CO_2 , сохранение воды и эффективное расходование энергии для нагрева. Другой задачей изобретения является локальное получение CO_2 из воздуха или локальное повышение уровней его содержания за счет этого же источника, исключающее какую-либо возможность образования вредных продуктов разложения аминов, а также создание условий, в которых гарантируется усвоение растениями фактически всего количества этого CO_2 , практически без его обратной эмиссии в воздух посредством вентиляции.

В WO 2009/105566 A2 рассмотрен альтернативный вариант улавливания CO_2 в случае повышенных уровней его содержания. Для улавливания CO_2 в этом варианте вместо ионообменной смолы применены активированный уголь, цеолиты, слабоосновный амин или другие сорбенты, в частности активированный глинозем.

Однако в случае неповышенных уровней содержания CO_2 возникает существенная проблема, в WO 2009/105566 A2 не упомянутая и связанная с тем, что физические адсорбенты отравляются водой, в результате чего их способность улавливать CO_2 снижается.

В WO 2011/004596 A1 и EP 1908809 A1 рассматриваются системы климат-контроля в замкнутых или полужамкнутых пространствах, содержащие устройство воздушного кондиционирования для фильтрации воздуха, охлаждения, а также для понижения влажности и нагревания, причем это устройство содержит тепловой насос. Однако ни один из этих документов не предлагает решения задачи улавливания CO_2 из окружающего воздуха

Сущность изобретения

Задача, на решение которой направлено изобретение, охарактеризованное в прилагаемой формуле, состоит в решении проблем, перечисленных выше.

Изобретение предлагает систему и способ, предназначенные для оптимизации концентрации CO_2 в замкнутых или полужамкнутых пространствах. Предлагаемая система содержит комплекс, улавливающий CO_2 из наружного воздуха и содержащий два функциональных блока, способных адсорбировать и десорбировать CO_2 на адсорбенте, а также функционировать попеременно в режиме адсорбции и в режиме десорбции.

Перечень фигур чертежей

На фиг. 1 представлена блок-схема, иллюстрирующая подачу CO_2 в теплицу, а также контроль температуры и относительной влажности, осуществляемые согласно варианту изобретения.

На фиг. 2 представлены детали блоков, адсорбирующих CO_2 .

На фиг. 3 приведен пример скорости роста, представленной в виде функции от уровня CO_2 .

На фиг. 4 проведено сопоставление эффективностей улавливания CO_2 .

На фиг. 5 приведен пример равновесных изотерм адсорбции CO_2 .

На фиг. 6 приведен пример равновесных изотерм адсорбции H_2O .

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

В данном описании и формуле изобретения термины "влажность" и "абсолютная влажность" используются для обозначения количественной оценки фактического содержания паров воды в воздухе (в г/м^3). Термин "относительная влажность" смеси воздух-пары воды используется для обозначения количественной оценки отношения реального парциального давления паров воды в воздухе и парциального давления паров воды в воздухе в том случае, когда при конкретной температуре он насыщен. Термин "концентрация CO_2 " используется для обозначения оценки количества молей CO_2 в воздухе относительно суммарного количества содержащихся в нем молекул газа. Этот параметр измеряется в миллионных долях (м.д.).

В контексте изобретения давление, единицей измерения которого является бар, представляет собой бар абсолютного давления. Соответственно 1,013 бар - это нормальное абсолютное давление на уровне моря. В системе СИ один бар соответствует 100 кПа.

Содержание выражения "температура окружающей среды" в данном контексте может различаться в зависимости от климатических условий, в которых функционирует замкнутая или полужамкнутая система, обслуживаемая в соответствии со способом по изобретению. В стандартной ситуации температура окружающей среды лежит в интервале 0-40°C; однако этот интервал может также находиться в пределах от минусовых уровней температуры до значений, несколько превышающих 40°C, таких как 50°C.

Термины "солнечное излучение" и "инсоляция" в данном контексте относятся к энергии на уровне моря, поступающей от солнца. Плотность данной энергии измеряется в Вт/м^2 . В зонах проживания большей части мирового населения уровни инсоляции составляют 150-300 Вт/м^2 .

На фиг. 1 представлена принципиальная общая схема системы, выполненной согласно предпочтительному варианту изобретения. В данной системе фильтрацию, охлаждение, осушение и нагрев воздуха обеспечивает часть (комплекс) 1, содержащая (содержащий) две колонки. Одна из них предназначена для обработки циркулирующего воздуха и вентиляции в замкнутой или полужамкнутой системе, такой как теплица. Другая колонка выполняет фильтрацию, охлаждение и осушение воздуха, поступающего из окружающей среды. Часть 2 представляет собой тепловой насос, а часть (комплекс) 3 - систему, адсорбирующую CO_2 из наружного воздуха и из вентиляционного воздуха теплицы, применяя для этого, вместо каких-либо химикатов, только твердые цеолиты.

Часть 1, обеспечивающая фильтрацию, охлаждение, осушение и нагрев воздуха, включает в себя

замкнутую или полузамкнутую систему 100, предназначенную для выращивания растений, и систему, осуществляющую очистку воздуха и обогащение его углекислым газом CO_2 . Эта система содержит фильтр 149, трубопровод 130 для подачи воздуха, обогащенного CO_2 , охлаждающую и осушающую колонку 106, вентилятор 123 и нагреватель 104. Из системы 100 воздух по трубопроводу 102 поступает к фильтру 149, а из него в трубопровод 109 и, далее, смешивается с воздухом, обогащенным CO_2 и поступающим из части 3 системы по трубопроводу 130. В обогащенном воздухе количество CO_2 составляет 500-5000 м.д., например 1900 м.д. Смесь циркулирующего воздуха и воздуха, обогащенного CO_2 , по трубопроводу 110 направляется в колонку 106, в которой воздух движется вверх, находясь в противотоке с охлажденной водой, через набивку 107, обеспечивающую хороший контакт между воздухом и водой (охлажденная вода подается в колонку по трубопроводу 128). После контакта с водой в набивке 107 охлажденный воздух проходит через влагоудалитель 122, удаляющий захваченные воздухом капли воды. Из колонки 106 охлажденный воздух поступает в трубопровод 146, за которым он разделяется на две составляющие, конкретно, на два разных потока. Более слабый из них направляется в часть 3 системы по трубопроводу 103, причем удаляемый воздух замещается воздухом из трубопровода 130 (см. далее), а более сильный поток направляется по трубопроводу 145 к вентилятору 123. Воздух, напор которого был повышен вентилятором 123, нагревается в нагревателе 104 и по трубопроводу 101 возвращается в замкнутую или полузамкнутую систему для выращивания растений.

Охлажденная вода и вода, полученная из воздуха посредством конденсации в колонке 106, скапливаются на дне этой колонки и выводятся из системы по трубопроводу 105. После смешивания с водой, поступившей из колонки 115 по трубопроводу 114, объединенный водяной поток направляется по трубопроводу 127 к насосу 147, из которого попадает в трубопровод 148, а избыток воды сбрасывается из системы в трубопровод 152. Оставшаяся вода по трубопроводу 155 направляется к охладителю 154, а затем, пройдя по трубопроводу 156, разделяется на две части, попадающие соответственно в трубопровод 131 и трубопровод 128. Специалистам в этой области будет понятно, что воздух, поступающий из колонки 106, насыщен или близок к насыщению парами воды, а абсолютная влажность задается, таким образом, его температурой. Специалистам будет понятно также, что относительная влажность воздуха будет задаваться абсолютной влажностью и температурой за нагревателем 104 (т.е. относительно него далее по течению потока). Кроме того, скорость потока воздуха и концентрация CO_2 в трубопроводе 130 будут задавать концентрацию CO_2 в потоках воздуха, поступающих из колонки 106 в трубопровод 146. Возможен такой контроль, при котором в системе 100 желаемые уровни относительной влажности, температуры и концентрации CO_2 обеспечиваются на основе измерений в потоке воздуха, вытекающего из системы 100 по трубопроводу 102.

Часть 1, обеспечивающая впуск воздуха и его предварительную обработку, содержит впускной канал 116, за которым воздух по трубопроводу 112 подается к фильтру 129. После фильтрации воздух охлаждается и осушается в набивке 125 колонки 115 посредством потока охлажденной воды, направленного в обратную сторону, причем до выведения воздуха по трубопроводу 124 в часть 3 системы, описанной далее, из него влагоудалителем 113 удаляются капли воды. Циркулирующая вода и конденсат выводятся из колонки 115 в трубопровод 114 и, далее, в трубопровод 105, где смешиваются с водой. Как и вода, поступающая из колонки 106, эта вода направляется затем в водоохлаждательный контур, содержащий трубопроводы 127, 148 и установленный между ними насос 147. Избыток воды сбрасывается из системы через выпускной канал 152, а оставшийся поток воды охлаждается в охладителе 154, а затем направляется обратно в колонку 115 по трубопроводам 156 и 131.

Часть 2 представляет собой тепловой насос, который использует тепло, образованное в части 1 системы в результате охлаждения воздуха и конденсации паров воды, а также, как вариант, полученное из окружающей среды. Это тепло насос выводит на более высокий температурный уровень и применяет для дополнительного нагревания воздуха, чтобы затем вернуть его в замкнутую или полузамкнутую систему 100, предназначенную для выращивания растений. В части 2 предусмотрено наличие двух основных проточных контуров. Один из них, уже обсуждавшийся выше, представляет собой водяной проточный контур, снабжаемый водой из колонок 106 и 115. Эта вода протекает через трубопровод 127, насос 147 и трубопроводы 148, 155 к охладителю 154 воды, под воздействием которого ее температура понижается до 0-5°C, например до 1°C, и направляется по трубопроводу 156 и далее по трубопроводам 128 и 131 в колонки 106 и 115 соответственно. Скорости потока воды в трубопроводах 128 и 131 регулируются так, чтобы перед набивками 107 и 125 значения температуры воздуха выходили на требуемые уровни.

Во втором проточном контуре части 2 используется холодильный агент (хладагент), функционирующий на основе фреонового или аммониевого цикла охлаждения. Такой агент, имеющий высокое давление, зависящее от свойств агента и составляющее 1500-3000 кПа (например, 2000 кПа), по трубопроводу 150 поступает из компрессора 151 в трубопровод 178. По трубопроводу 178 хладагент уже в качестве высокотемпературной нагревательной среды направляется к части 3, в которой главным образом используется его физическая теплота. Израсходовав некоторое приемлемое количество (например, 15%) доступного тепла, хладагент, все еще находящийся в газообразном состоянии, возвращается из части 3 в трубопровод 187. Далее этот поток разделяется на две составляющие, одна из которых по трубопроводу 144 проходит к нагревателю 104, где хладагент охлаждается, конденсируется и возвращается в трубопро-

вод 143. Остальная часть хладагента по трубопроводу 175 направляется к охладителю 177, где тоже охлаждается и конденсируется, а затем смешивается с хладагентом в трубопроводе 143, попав в него по трубопроводу 176. Весь этот сконденсированный хладагент направляется по трубопроводу 181 к клапану 185, в котором давление хладагента понижается до 200-500 кПа (например, до 280 кПа). В результате температура хладагента, в зависимости от его свойств, уменьшается до уровня между -5 и -20°C (например, до -10°C). Холодная текучая среда по трубопроводу 186 направляется к отводящему трубопроводу 184, через который некоторое количество текучей среды направляется к нагревателю 183, который в обычной ситуации, если тепла из теплообменника 154 недостаточно, использует тепло, поступающее из наружного воздуха. Остальная часть текучей среды по трубопроводу 157 направляется к теплообменнику 154, где она переходит в пар в результате теплообмена с водой, и поступает в трубопровод 155. Прежде чем попасть по трубопроводу 153 в компрессор 151, хладагент, таким образом нагретый и превращенный в пар, поступая из нагревателя 183 по трубопроводу 182 и из теплообменника 154 по трубопроводу 191, смешивается и по трубопроводу 180 направляется в жидкостный сепаратор 179, завершающий контур, по которому течет хладагент.

Часть 3 обеспечивает улавливание CO₂ из воздуха, содержащего примерно 400 м.д. CO₂, и доставку уловленного CO₂, приведенного в более концентрированную форму (с концентрацией 750-4500 м.д., например, 1400 м.д.), в систему 100, предназначенную для выращивания растений. Часть 3 содержит два основных идентичных функциональных блока 134 и 172, каждый из которых способен адсорбировать и десорбировать CO₂ на адсорбенте, причем оба блока функционируют попеременно в режиме адсорбции и в режиме десорбции. Твердый адсорбент представляет собой цеолит (микропористый кристаллический алюмосиликат), не содержащий дополнительных химикатов и, таким образом, инертный и абсолютно безопасный. Он стабилен при температурах выше 700°C и обычно применяется в качестве поглотителя влаги и адсорбента CO₂, причем, действуя как адсорбент CO₂, он предпочтительно адсорбирует воду и поэтому должен поддерживаться сухим.

Воздух подается по впускному каналу 116 и направляется через фильтр 129, колонку 115 и трубопровод 124, который разветвляется на трубопровод 188, ведущий к блоку 134, функционирующему в режиме адсорбции CO₂, и на трубопровод 120, ведущий к блоку 172, функционирующему в режиме десорбции CO₂.

В трубопроводе 120 воздух протекает через вентилятор 139, попадая затем в трубопровод 159, ведущий к блоку 172, осуществляющему десорбцию CO₂. Блок 172 снабжен клапанами 162' и 170'. На чертеже они показаны в положениях, в которых в данный блок может попасть только воздух, поступающий из трубопровода 159, а воздух, обогащенный CO₂, предоставлена возможность выхода только через трубопровод 173. Через впускной трубопровод 174 для воздуха или вентилятор 158 воздушный поток попасть в данный блок не может. Воздух, поступающий из трубопровода 159, будет обезвожен в цеолитной секции 164 до уровней с очень низким содержанием остаточной воды. Высушенный воздух нагревается в теплообменнике 117 посредством теплообмена с воздухом, выходящим из данного блока, а затем в подогревателе (теплообменнике) 166. В качестве подогревающей среды данный подогреватель использует хладагент, поступающий из части 2 через трубопровод 178, открытый клапан 160' и трубопровод 163. Из теплообменника 166 сконденсированный и/или охлажденный хладагент возвращается по трубопроводам 161 и 187 к трубопроводу 175, расположенному в части 2, а воздух, теперь уже нагретый от температуры ниже 10°C до температуры, например, в интервале 50-70°C, поступает к цеолитной секции 171, где происходит десорбция CO₂ посредством совместного воздействия повышенной температуры, понижающей способность адсорбента удерживать CO₂, и низкой концентрации CO₂ в притекающем воздухе, создающей для CO₂ тенденцию выделяться из адсорбента в воздух. После обогащения воздуха в цеолитной секции 171 газообразным CO₂ сухой воздух, обогащенный CO₂, проходит к цеолитной секции 167, в которой адсорбированная вода десорбируется. Горячий и сухой воздух способствует выделению воды из цеолита в воздух, повышая температуру цеолита и тем самым уменьшая его способность удерживать воду. Воздух, обогащенный CO₂, покидает блок 172, переходя в трубопровод 173, и через теплообменник 117 и трубопроводы 126, 130 поступает в часть 1.

Воздух, находящийся в трубопроводе 188, смешивается с воздухом, поступившим из трубопровода 103, и по трубопроводам 119 и 142 направляется в блок 134, функционирующий в режиме адсорбции CO₂. Сопрягающие элементы, относящиеся к десорбции, а именно впускное и выпускное отверстия для воздуха, расположенные соответственно со стороны трубопроводов 118 и 169, теплообменник 189 и трубопровод 111 перекрыты дверцами (заслонками) 140 и 141. Кроме того, перекрыт также путь сжатому хладагенту для его подогрева от трубопровода 132 через клапан 133 до нагревателя 136 и обратно по трубопроводу 165. Из трубопровода 142 воздух течет через вентилятор 168 и открытую дверцу 141 к адсорбирующей секции 138, где происходит адсорбция воды. Из секции 138 сухой холодный воздух поступает в следующую секцию 137, в которой адсорбируется CO₂. Далее воздух, обедненный CO₂, проходит через нагреватель 136 и теплообменник 189 к секции 135, в которой вода десорбируется как следствие высокого содержания влаги в данной секции и низкого содержания влаги в воздухе. Чтобы способствовать данному процессу десорбции, уменьшая способность адсорбента в секции 135 удерживать воду, можно применить нагрев, используя для этого нагреватель 136. После адсорбции CO₂ воздух из блока

134 направляется в окружающую среду.

На фиг. 2 представлены предпочтительные варианты адсорбирующих блоков 134 и 172, первый из которых показан в режиме адсорбции, а второй - в режиме десорбции. В данном случае используются те же цифровые обозначения, что и для аналогичных компонентов на фиг. 1. Дверцы 140 и 141 открыты. Вместо непосредственного перекрывания трубопроводов 118 и 169 в данном случае для этого используются два отдельных клапана 140' и 141' соответственно, которые на фиг. 2 показаны в закрытом состоянии. Дверцы 162 и 170 закрыты. Вместо непосредственного открывания каналов 159 и 173 в данном случае для этого используются два отдельных клапана 162' и 170' соответственно, которые на фиг. 2 показаны в открытом состоянии.

Чтобы улучшить взаимодействие цеолита с потоком воздуха, в секциях 135, 137 и 138 блока 134 цеолит разделен на горизонтальные подсекции. Аналогичным образом разделен на горизонтальные подсекции цеолит в секциях 164, 171 и 167 блока 172. Дополнительно улучшают распределение воздуха и его поступление в блоки 134 и 172 манифольды 200, 201 и 202, 203 соответственно.

Пример.

Теплица с площадью пола 1000 м^2 и объемом 5000 м^3 воспринимает солнечное излучение с поверхностной плотностью 150 Вт/м^2 . Концентрация CO_2 должна поддерживаться на уровне 850 м.д., температура - равной 25°C , а относительная влажность - на уровне 75%. Наружная температура равна 15°C , а относительная влажность наружного воздуха составляет 80%. Внутри теплицы растения потребляют CO_2 в количестве примерно $1,6 \text{ кг/ч}$ (это значение рассчитано на основе справочного потребления 100 м.д. CO_2) или примерно $0,9 \text{ кг/ч}$, если концентрация CO_2 равна 320 м.д. На фиг. 3 этот уровень представлен в виде треугольника, обозначенного, как "Нормальный воздух". При наличии в воздухе теплицы CO_2 с концентрацией 850 м.д. скорость роста в данном примере примерно в 1,8 раз больше, что соответствует потреблению CO_2 , равному примерно $1,6 \text{ кг/ч}$.

Итоговые потери полезного тепла в теплице составляют примерно 46 кВт. Они обусловлены такими факторами, как рассеивание солнечного излучения при отражении (альбедо), инфракрасное излучение, энергия, потребляемая в процессах фотосинтеза и испарения воды растениями, а также выброс энергии в окружающую среду посредством теплопереноса в направлении более холодного наружного воздуха. Испарение влаги растениями составляет примерно 74 кг/ч .

Используется процесс, проиллюстрированный фиг. 1. Расход воздуха, поступающего из теплицы в трубопровод 102, составляет $7600 \text{ м}^3/\text{ч}$ (примерно 10000 кг/ч). При таком расходе воздуха время нахождения воздуха в теплице, определяемое соотношением между объемом теплицы и проходящим через нее волуметрическим потоком воздуха, составляет примерно 40 мин. В установившемся рабочем режиме температура этого воздуха равна 25°C , а его относительная влажность составляет 75%. Концентрация CO_2 равна примерно 850 м.д. Данный воздух смешивается с воздухом, поступающим, с расходом $1080 \text{ м}^3/\text{ч}$, из трубопровода 130 и содержащим примерно 1900 м.д. CO_2 . Полученная смесь охлаждается до примерно 72°C посредством контакта с встречным потоком воды, происходящего в набивке 107. В результате этого охлаждения из воздуха удаляется вода в количестве примерно 75 кг/ч , и абсолютная влажность воздуха в трубопроводе 146 (содержание влаги за влагоудалителем 122) оказывается равной примерно 8 г/м^3 . Воздух, поступающий из трубопровода 146 с расходом примерно 1080 кг/ч (или, в пересчете на моли, в количестве 102%), направляется по трубопроводу 103 для извлечения CO_2 . Остальной воздух нагревается до примерно 44°C в нагревателе 104 и по трубопроводу 101 возвращается обратно в теплицу для вторичного использования.

Охлаждающая вода поступает в колонку 106 по трубопроводу 128 с расходом примерно 5500 кг/ч при 1°C . В набивке 107 она нагревается до примерно 18°C и вместе с водой, поступающей из колонки 115 по трубопроводу 114 при 6°C с расходом примерно 4500 кг/ч , проходит через трубопровод 127, насос 147 и трубопровод 148 к отводному каналу 152. Температура в этой точке составляет примерно 13°C . Избыточная вода или конденсат в количестве 90 кг/ч , из которых 71 кг/ч поступает из колонки 106, а 19 кг/ч - из колонки 115, сбрасывается по трубопроводу 152. Остальная вода, расход которой составляет примерно 10000 кг/ч , охлаждается в теплообменнике 154 от примерно 13 до примерно 1°C и возвращается в рабочий цикл по трубопроводу 156. Полезная мощность теплообменника 154 составляет 135 кВт.

Пройдя, с расходом 10000 кг/ч , по трубопроводу 156, вода разделяется на две части, одна из которых (5500 кг/ч) поступает в трубопровод 128, а другая (4500 кг/ч) попадает в трубопровод 131, по которому она проходит к колонке 115 и направляется к верхней части набивки 125, стекая вниз и находясь при этом в противотоке с воздухом, поступающим с расходом 3650 кг/ч из впускного канала 116 и прошедшим через трубопровод 112, фильтр 129 для воздуха и трубопровод 121 к набивке 125 колонки 115 снизу. Прежде чем покинуть колонку 115 через влагоудалитель 113, воздух охлаждается в данной набивке до $1\text{--}2^\circ\text{C}$, например до примерно $1,2^\circ\text{C}$. Охлажденный и обезвоженный таким образом воздух проходит по трубопроводу 124 в систему, улавливающую CO_2 . Вода в количестве примерно 19 кг/ч конденсируется в ходе этого процесса охлаждения и вместе с основным выходящим массивом воды поступает из колонки 115 в трубопровод 114.

В цикле охлаждения, осуществляемом компрессором 151, используется аммониевый хладагент, который при расходе примерно 396 кг/ч подвергается в компрессоре 151 сжатию под давлением 280-2000

кПа. Полезная мощность компрессора составляет 44 кВт. С всасывающей стороны компрессора температура аммония равна примерно 3°C. При политропическом КПД компрессора, равном 85%, после сжатия температура повышается до примерно 193°C. Теплый хладагент направляется в адсорбирующий блок, функционирующий в режиме десорбции и для понижения температуры хладагента до примерно 170°C использующий примерно 6 кВт. После этого хладагент возвращается в трубопровод 187. Одна его часть с расходом примерно 242 кг/ч поступает к нагревателю 104, где она конденсируется и охлаждается до примерно 16°C. Полезная мощность нагревателя составляет 105 кВт. Остальная часть хладагента направляется, с расходом 156 кг/ч, по трубопроводу 175 к охладителю 177 и конденсируется в нем. Полезная мощность охладителя составляет 65 кВт. Объединенный поток сконденсированного хладагента с расходом 396 кг/ч дросселируется в клапане 185 с понижением давления от примерно 2000 кПа до уровня, лежащего немного ниже 300 кПа. В результате температура уменьшается от примерно 16°C до примерно -10°C. За клапаном текучая среда представляет собой в основном жидкость с небольшими включениями (примерно 10%) газа. Вся она направляется по трубопроводу 157 к теплообменнику 154, в котором хладагент целиком испаряется и нагревается до примерно 3°C. Из-за трения внутри теплообменника давление понижается с 300 кПа до примерно 280 кПа. Испаренный хладагент возвращается в рабочий цикл компрессора 151 через трубопровод 191, трубопровод 180, жидкостный сепаратор 179 и трубопровод 153. На этом цикл охлаждения завершается.

Пройдя трубопровод 124, поток воздуха разделяется на две части, одна из которых (при расходе примерно 1080 кг/ч) через трубопровод 120, вентилятор 139 и трубопровод 159 направляется к блоку 172, функционирующему в режиме десорбции CO₂.

Блок 172 характеризуется следующими параметрами.

Адсорбция H₂O, секция 164.

Воздух, подаваемый по трубопроводу 159 с расходом 1080 кг/ч, имеет влажность примерно 6 г/м³, что соответствует суммарному потоку воды, составляющему примерно 4,7 кг/ч. Парциальное давление H₂O равно примерно 700 Н/м². Как показано на фиг. 6, состояние адсорбента воды смещается из зоны, обозначенной, как "не нагруженный H₂O", в зону, обозначенную, как "нагруженный H₂O". Предельная нагрузка (емкость) адсорбента составляет примерно 250 г/кг. Отсюда следует, что, если продолжительность процесса десорбции CO₂ равна 1 ч, потребуется по меньшей мере 18,8 кг адсорбента.

Десорбция CO₂, секция 171.

Воздух, подаваемый из секции 171 с расходом 1080 кг/ч, содержит 400 м.д. CO₂, что соответствует количеству примерно 0,65 кг/ч. Парциальное давление CO₂ равно примерно 40 Н/м². Этот воздух нагревают до примерно 90°C в нагревателях 117 и 166. После десорбции содержание CO₂ за секцией 171 составляет примерно 1900 м.д., а парциальное давление CO₂ и расход CO₂ равны соответственно примерно 190 Н/м² и примерно 3,1 кг/ч. Как показано на фиг. 5, состояние адсорбента CO₂ смещается из точки, обозначенной, как "Нагруженный" (см. верхний, т.е. левый кружок), в точку, обозначенную, как "Ненагруженный" (см. нижний, т.е. правый кружок). Предельная нагрузка адсорбента составляет примерно 15 г/кг, а полезное количество десорбированного CO₂ равно примерно 2,5 кг. Отсюда следует, что, если продолжительность процесса десорбции CO₂ равна 1 ч, потребуется по меньшей мере 163 кг адсорбента.

Десорбция H₂O, секция 167.

Для десорбции H₂O используется теплый сухой воздух, поступающий из секции 171. Для завершения процесса десорбции H₂O в конце цикла температура может быть повышена, например до уровня 150°C.

Остальной воздух, оставшийся в трубопроводе 124, проходит (с расходом 2550 кг/ч) по трубопроводу 188 к зоне смешивания и смешивается там с воздухом, поступившим (с расходом примерно 1080 кг/ч) из трубопровода 103. Воздух в трубопроводе 124 находится при температуре примерно 1,2°C и содержит 400 м.д. CO₂, а влажность его составляет примерно 5 г/м³. Воздух в трубопроводе 103 находится при температуре примерно 7°C и содержит 920 м.д. CO₂, а влажность его составляет примерно 8 г/м³. После смешивания воздух в трубопроводах 119 и 142 имеет температуру примерно 2,8°C, а концентрация CO₂ в нем составляет примерно 550 м.д., что соответствует массовому расходу примерно 3,0 кг/ч. Парциальное давление CO₂ и влажность равны примерно 55 Н/м² и примерно 6 г/м³ соответственно, что соответствует потоку воды, составляющему примерно 17,7 кг/ч. Парциальное давление паров воды равно 770 Н/м².

Блок 134 характеризуется следующими параметрами.

Адсорбция H₂O, секция 138 адсорбента.

Воздух, подаваемый из трубопровода 142 с расходом 3630 кг/ч, имеет влажность примерно 6 г/м³, а поток воды составляет 17,7 кг/ч. Парциальное давление H₂O равно примерно 700 Н/м². Как показано на фиг. 6, состояние адсорбента воды смещается из зоны, обозначенной, как "не нагруженный H₂O", в зону, обозначенную, как "нагруженный H₂O". Емкость адсорбента составляет примерно 250 г/кг. Отсюда следует, что, если продолжительность процесса десорбции CO₂ равна 1 ч, потребуется по меньшей мере 70,8 кг адсорбента.

Адсорбция CO₂, секция 137.

Дегидратированный воздух, подаваемый из секции 138 с расходом 3612 кг/ч, содержит 550 м.д.

CO₂, что соответствует примерно 3,0 кг/ч. Парциальное давление CO₂ равно примерно 55 Н/м². После адсорбции содержание CO₂ за секцией 137 составляет примерно 90 м.д., а парциальное давление CO₂ равно примерно 9 Н/м². Как показано на фиг. 5, состояние адсорбента CO₂ смещается из точки, обозначенной, как "Ненагруженный" (см. нижний, т.е. правый кружок) в точку, обозначенную, как "Нагруженный" (см. верхний, т.е. левый кружок). Емкость адсорбента составляет примерно 15 г/кг, а полезное количество адсорбированного CO₂ равно примерно 2,5 кг, т.е. совпадает с количеством, десорбированным в блоке 172 секции 171. Как и для блока 172, если продолжительность процесса десорбции CO₂ равна 1 ч, потребуется по меньшей мере 163 кг адсорбента. Десорбция H₂O, секция 135. Для десорбции H₂O используется дегидратированный воздух, поступающий из секции 137. Для завершения процесса десорбции H₂O в конце цикла температура может быть повышена, например до уровня 150°C.

Специалисты в этой области отметят, что конкретная энергия, требуемая для улавливания CO₂ из воздуха, сильно зависит от концентрации CO₂ в продукте со значительным содержанием CO₂. На фиг. 4 показано, что минимальная удельная энергия ниже уровня, требуемого для улавливания CO₂ из отработанного газа, который по сравнению с воздухом имеет существенно большее содержание CO₂ (в соответствующем продукте концентрация CO₂, уловленного из отработанного газа, может приближаться к 100%). Более того, анализ схемы по фиг. 1 открывает широкие возможности для оптимизации использования тепловой энергии, такие, например, как утилизация холода из воздуха, покидающего блок 134 и при этом охлажденного и имеющего низкое содержание CO₂.

Специалисты в этой области отметят также, что при адсорбции H₂O высвобождаются большие количества тепла, по порядку величины такие же, как латентное тепло процесса конденсации паров воды. Это является преимуществом в режиме десорбции CO₂, использующем адсорбент 164, и недостатком в режиме адсорбции CO₂, использующем адсорбер 138. Как показано на фиг. 1, предусмотрена возможность установить охлаждающие змеевики между секциями 137 и 138 адсорбера, расположенного в блоке 134, а также между секциями 171 и 167 адсорбера, расположенного в блоке 172.

В добавление к этому, специалистам будет понятно, что вместо цеолитных слоев, адсорбирующих CO₂ и H₂O, могут быть применены адсорбирующие системы, более эффективные и менее чувствительные к H₂O, такие как глинозем, функционализированный амином. Эти системы упрощают конструкцию блоков 134 и 172, однако приносят такие недостатки, как возможное разложение амина и производство токсичных веществ. Предусмотрена также возможность применения других источников CO₂, таких как баллонный CO₂, сухой лед, а также CO₂, поступающий из биореакторов или по соответствующей магистрали.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для климат-контроля в замкнутых или полузамкнутых пространствах, содержащая комплекс (1) для кондиционирования воздуха с целью его фильтрации, охлаждения/осушения и нагрева, тепловой насос (2) и комплекс (3), который осуществляет улавливание CO₂ из наружного воздуха и содержит два функциональных блока (134, 172), отличающаяся тем, что указанные функциональные блоки (134, 172) способны адсорбировать и десорбировать CO₂ на адсорбенте и функционировать попеременно в режиме адсорбции и в режиме десорбции.

2. Система по п.1, в которой каждый из указанных функциональных блоков (134, 172) содержит воздухозаборник, вентилятор (168), дверцу (141, 170), манифольд (201, 203), адсорбирующую секцию (138, 167), в которой адсорбируется вода, секцию (137, 171), в которой адсорбируется CO₂, нагреватель (136, 166), теплообменник (189, 117), секцию (135, 164), в которой вода десорбируется, другой манифольд (200, 202), другую дверцу (140, 162) и выпускной канал для воздуха.

3. Система по п.2, в которой секции (138, 137, 135, 167, 171, 164) функциональных блоков (134, 172) содержат адсорбирующий материал.

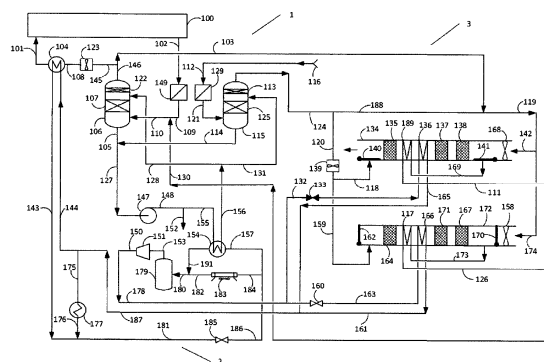
4. Система по п.3, в которой указанный адсорбирующий материал разделен на горизонтальные секции, чтобы оптимизировать течение воздуха.

5. Система по п.4, в которой указанный адсорбирующий материал представляет собой цеолит.

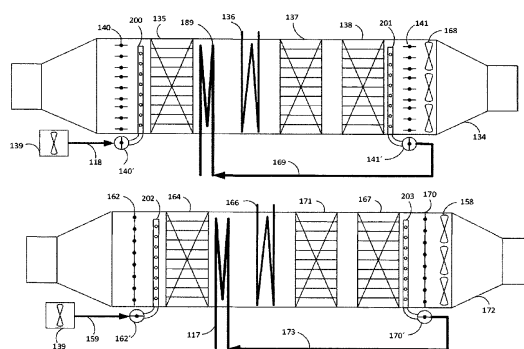
6. Система по п.4, в которой указанный адсорбирующий материал представляет собой аминокруппы.

7. Система по п.1, в которой комплекс (1) для кондиционирования воздуха содержит первую колонку, предназначенную для обработки циркулирующего воздуха и вентиляционного воздуха, и вторую колонку, предназначенную для фильтрации и охлаждения/осушения воздуха, поступающего из окружающей среды.

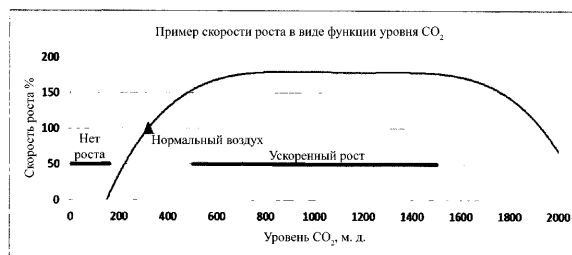
8. Способ климат-контроля в замкнутых или полузамкнутых пространствах, при осуществлении которого используют комплекс (1) для кондиционирования воздуха с целью его фильтрации, охлаждения/осушения и нагрева, тепловой насос (2) и комплекс (3), который осуществляет улавливание CO₂ из наружного воздуха и содержит два функциональных блока (134, 172), отличающийся тем, что указанные функциональные блоки (134, 172) способны адсорбировать и десорбировать CO₂ на адсорбенте и функционируют попеременно в режиме адсорбции и в режиме десорбции.



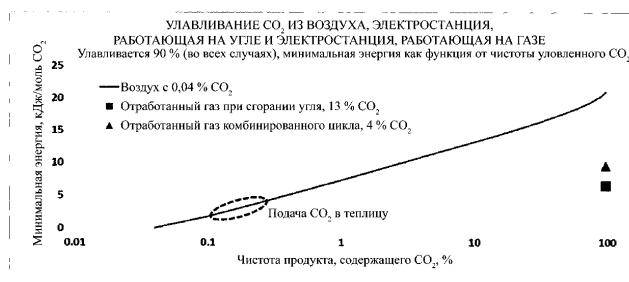
Фиг. 1



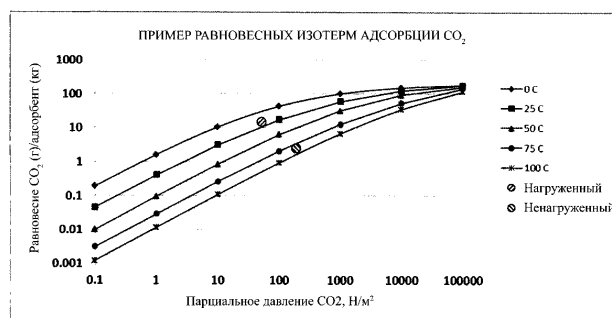
Фиг. 2



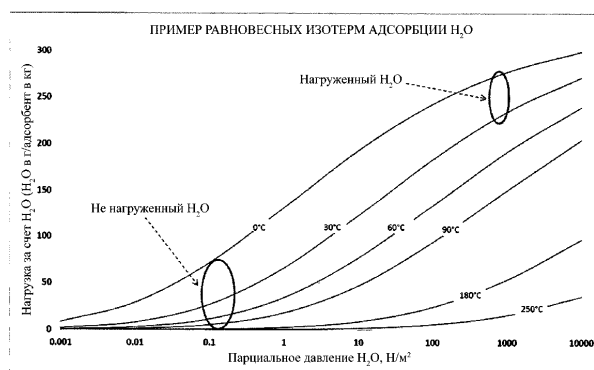
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

