

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202292165 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.10.07

(51) Int. Cl. *F25B 15/00* (2006.01)
E03B 3/28 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2021.01.20

(54) ГЕНЕРАТОР АТМОСФЕРНОЙ ВОДЫ

(31) 2020/00358

(32) 2020.01.20

(33) ZA

(86) PCT/IB2021/050431

(87) WO 2021/148965 2021.07.29

(71) Заявитель:

СИРРУС РЕХОС ВЕНЮАБЛ
ПОВЕР ЭНД ВАТЕР (ПиТиАЙ) ЛТД
(ZA)

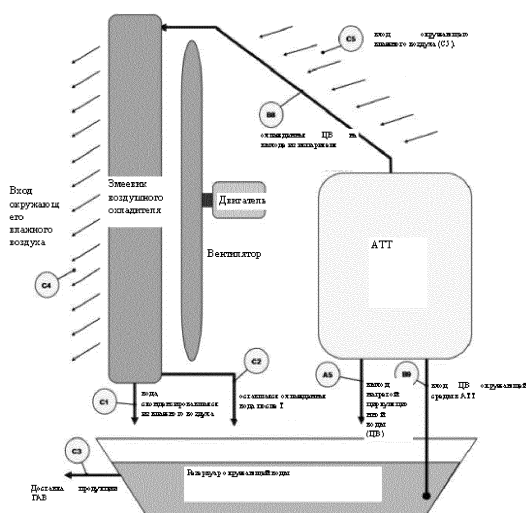
(72) Изобретатель:

Мюррай Мике, Енслин Джохан Адам
(ZA)

(74) Представитель:

Рыбина Н.А. (RU)

(57) Изобретение относится к генератору атмосферной воды, включающему в себя абсорбционный тепловой трансформатор (АТТ), выполненный в виде теплового насоса, способный отбирать тепло даже от источников сбросного тепла при температуре окружающей среды или ниже, с испарителем, работающим при благоприятной расчетной температуре (предпочтительно от 2 до 15°C) для подачи охлажденной воды в змеевик холода, извлекающий атмосферную воду из окружающего воздуха. В АТТ используется псевдоизобарический барботажный реактор с температурным скольжением, который содержит подходящую бинарную парожидкостную смесь в среде дистилляции с разделением по плотности, приводимой в действие процессом абсорбции паров.



A1

202292165

202292165

A1

ГЕНЕРАТОР АТМОСФЕРНОЙ ВОДЫ

ОБЛАСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Изобретение относится к генератору атмосферной воды (ГАВ).

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Стандартные машины ГАВ используют концепцию осушения, при которой атмосферный воздух охлаждается до температуры ниже точки росы, конденсируя воду из воздуха в холодном змеевике испарителя, после чего охлажденный воздух используется в качестве хладагента для отвода тепла в горячем змеевике конденсации. Парокомпрессионный холодильный агрегат (ПХА) соединен между двумя змеевиками, завершая работу машины ГАВ. Основными эксплуатационными расходами такой установки ГАВ являются затраты на электроэнергию, необходимую для питания компрессора холодильной установки. Цена производства воды (в мире) варьируется в значительной степени. В основном это можно объяснить стоимостью энергии. Стоимость обеспечения муниципальной водой, рассчитанная в энергетическом выражении, может варьироваться, например, от примерно 12,5 Втч/л до примерно 4,5 Втч/л в зависимости от страны и местоположения. Затраты на опреснение воды снижаются благодаря новым технологиям и международной конкуренции. Эксплуатационные расходы стандартного ГАВ остаются относительно высокими по сравнению с муниципальным водоснабжением и стандартными опреснительными установками.

ОБЪЕКТ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Целью изобретения является создание машины ГАВ, которая позволяет избежать затрат на использование парового компрессора для более экономного производства воды.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В соответствии с изобретением предлагается генератор атмосферной воды (ГАВ), который включает в себя:

холодный змеевик для извлечения атмосферной воды из воздуха;

барботажный реактор с псевдоизобарическим температурным скольжением, который содержит подходящую бинарную парожидкостную смесь в среде перегонки с разделением по плотности, приводимый в действие процессом абсорбции паров;

источник воды, соединенный с испарителем водоохладителя, с каналом потока охлаждающей воды на первой стороне испарителя водоохладителя, который изолирован от второй стороны испарителя водоохладителя и находится в тепловом сообщении со второй стороной испарителя водоохладителя;

линию подачи бинарной парожидкостной смеси из барботажного реактора, соединенную через насос испарителя со второй стороной испарителя водоохладителя для испарения бинарной парожидкостной смеси и отбора тепловой энергии из воды в проточном тракте водяного охлаждения;

тракт потока охлаждающей воды, соединенный от испарителя водяного охладителя с охлаждающим змеевиком; а также

линию возврата бинарной парожидкостной смеси со второй стороны испарителя водоохладителя, соединенную с абсорбером с выходом бинарной парожидкостной смеси, соединенным обратно в барботажный реактор.

Изобретение дополнительно предусматривает ГАВ, как определено, в котором обратная линия бинарной парожидкостной смеси со второй стороны испарителя водоохладителя соединена через первый вход с абсорбером, а барботажный реактор соединен через циркуляционный насос абсорбера во второй вход абсорбера.

Изобретение дополнительно предусматривает ГАВ, как определено, в котором дистилляция с разделением по плотности в барботажном реакторе обеспечивается за счет:

- (а) гравитационной силе;
- (б) центробежных сил, возникающих в бинарной парожидкостной смеси; или же
- (в) сочетания гравитационной и центробежной сил, возникающих в бинарной парожидкостной смеси.

Дополнительные признаки изобретения предусматривают ГАВ, как определено, в

котором: вентилятор установлен для перемещения воздуха из окружающей среды по холодному змеевику; бинарная парожидкостная смесь представляет собой смесь аммиака и воды ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$); источник воды представляет собой резервуар для воды, соединенный через циркуляционный водяной насос с каналом потока охлаждающей воды на первой стороне испарителя водоохладителя; вода в резервуаре имеет по существу температуру окружающей среды.

Дополнительные признаки изобретения предусматривают ГАВ, как определено, в котором: барботажный реактор включает камеру переохлаждения, расположенную под барботажным реактором, с бинарной парожидкостной смесью в камере переохлаждения, контактирующей с охлаждающим змеевиком для отвода тепла и переохлаждения бинарной парожидкостной смеси [до температуры ниже уровня насыщения для давления в барботажном реакторе]; вода прокачивается через охлаждающий змеевик камеры переохлаждения и из охлаждающего змеевика в абсорбирующий змеевик в абсорбере для выхода из абсорбера в виде горячей подаваемой воды; переохлажденный жидкий компонент бинарной парожидкостной смеси опускается на дно камеры переохлаждения, куда всасывающий патрубок циркуляционного насоса абсорбера всасывает переохлажденную жидкость; переохлажденная жидкость от циркуляционного насоса абсорбера поступает в смесительную секцию абсорбера через сопло на втором входе, а пар из испарителя водоохладителя поступает в секцию смешения через паровое сопло на первом входе для образования столба смешанного двухфазного парожидкостного потока, обменивающегося теплом и массой по мере поглощения пара переохлажденной жидкостью; поглотитель включает в себя множество вертикальных абсорбционных каналов ниже по потоку от секции смешивания, предназначенных для использования силы тяжести для обеспечения нисходящего потока жидкости с разницей в плотности между жидкостью и пузырьками пара, образующимися в противотоке для увеличения контакта теплообмена между жидкостью и паром [с жидкостью поглощая пар по мере течения, поэтому диаметры пузырьков пара становятся все меньше и меньше в направлении потока жидкости через абсорбер, увеличивая скорость тепломассопереноса, пока насыщенная жидкость с очень малой паровой составляющей не достигнет выхода абсорбера].

Еще одна особенность изобретения предусматривает ГАВ, как определено, в котором бинарная парожидкостная смесь, выходящая из выхода абсорбера, представляет собой двухфазную смесь с плотностью, обеспечивающей количество энергии в скрытой паровой форме, достаточной для снабжения барботажного реактора дополнительным

теплом дистилляции.

Дополнительные признаки изобретения предусматривают ГАВ, как определено, в котором: давление на второй стороне испарителя водоохладителя регулируется выше давления барботажного реактора; бинарная парожидкостная смесь, поступающая в испаритель водяного охладителя, переохлаждается, а затем нагревается внутри испарителя водяного охладителя до температуры насыщения.

Дополнительные признаки изобретения предусматривают ГАВ, как определено, в котором: насос испарителя соединен с барботажным реактором для подачи и доставки в испаритель водоохладителя бинарной парожидкостной смеси с высокой концентрацией NH_3 при температуре, которая является переохлажденной по сравнению с давлением испарителя водяного охладителя; холодная бинарная парожидкостная смесь NH_3 высокой концентрации из барботажного реактора насосом испарителя перекачивается в испаритель водоохладителя; испаритель водяного охладителя представляет собой обычный кожухотрубный теплообменник, в котором охлаждаемая вода течет внутри труб, а бинарная парожидкостная смесь NH_3 с высокой концентрацией течет внутри кожуха по трубам.

Дополнительные признаки изобретения предусматривают ГАВ, как определено: которое включает в себя пусковое устройство для производства пара для нагревания днища барботажного реактора; в котором пусковым устройством является нагревательный элемент в испарителе водоохладителя, предназначенный для выработки пара.

Дополнительные признаки изобретения предусматривают ГАВ, как определено, в котором: нагревательный элемент работает от электричества; нагревательный элемент нагревается с помощью внешнего источника тепла; пар, генерируемый нагревательным элементом в испарителе водоохладителя, впрыскивается в абсорбер; пар, генерируемый нагревательным элементом в испарителе водоохладителя, используется для питания эжектора, подключенного для удаления пара из барботажного реактора, его сжатия и подачи сжатого пара в абсорбер, где он поглощается, вырабатывая тепло в камере переохлаждения.

Другие особенности изобретения предусматривают ГАВ, как определено, в котором: пусковое устройство представляет собой внешний вакуумный насос или

компрессор с электрическим приводом для удаления паров из барботажного реактора, их сжатия и подачи сжатых паров в абсорбер, где они поглощаются, вырабатывая тепло; в камеру переохладения; пусковым устройством является нагревательный элемент в камере переохладения.

Еще одна особенность изобретения предусматривает ГАВ, как определено, в котором насос испарителя и циркуляционный насос абсорбера, а также циркуляционный водяной насос интегрированы в систему насосов ротационной системы [с использованием конфигурации насоса с трубкой Пито].

Еще одна особенность изобретения предусматривает ГАВ, как определено, который включает в себя встроенный модуль, включающий в себя вращающийся абсорбер и барботажный реактор со встроенным насосом испарителя, циркуляционным насосом абсорбера и циркуляционным водяным насосом, причем модуль соединен с испарителем водяного охладителя, который предоставляется внешним по отношению к модулю.

Другие особенности изобретения предусматривают ГАВ, как определено, в котором: пусковой нагревательный элемент предусмотрен во внешнем испарителе водоохладителя; рабочее давление барботажного реактора в модуле регулируется регулированием расхода горячей воды на выходе из абсорбера, а для регулирования давления жидкости, поступающей в испаритель внешнего водоохладителя, предусмотрен регулятор давления; регулятор температуры предназначен для регулирования массового расхода охлажденной воды до выбранной температуры охлаждения.

Изобретение распространяется на сопутствующий способ производства воды из окружающего воздуха на основе технологии, раскрытой и упомянутой в данном описании.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ФИГУР

Эти и другие признаки изобретения станут более очевидными из следующего описания вариантов осуществления, сделанного только в качестве примера, со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых:

На Фигуре 1 показана схема генератора атмосферной воды (ГАВ) в соответствии с изобретением;

На Фигуре 2 показаны компоненты абсорбционного теплового трансформатора (АТТ), входящего в состав ГАВ;

На Фигуре 2 показаны компоненты переохладителя и абсорбера АТТ; а также

На Фигуре 4 показан альтернативный вариант ГАВ.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Генератор атмосферной воды (ГАВ) настоящего изобретения обеспечивает осушение воздуха путем его охлаждения и использует абсорбционный тепловой трансформатор (АТТ), который использует тепло окружающей среды для питания процесса.

На **Фигуре 1** чертежей проиллюстрирована схема процесса ГАВ в соответствии с изобретением. Следующие функции помечены на Фигуре 1 для справки при чтении этого описания:

выход нагретой циркуляционной воды (ЦВ) (A5);
охлажденная ЦВ на выходе из испарителя (B8);
вход ЦВ окружающей среды в АТТ (B9);
вода, сконденсировавшаяся из влажного воздуха (C1);
оставшаяся охлажденная вода после Т (C2);
произведен продукт ГАВ (C3);
выход охлажденного осушенного воздуха (C4); а также
вход окружающего влажного воздуха (C5).

АТТ включает в себя выход охлажденной воды (B8), направленный на теплообменник воздух-вода (Т), который включает в себя осушитель или холодный змеевик воздушного охладителя для конденсации водяного пара из влажного воздуха.

Расчеты и значения в этой спецификации предназначены для обеспечения оценок и указания работоспособности оборудования по изобретению. Влажность, принятая для расчетов, была выбрана равной 76%, что является среднегодовой влажностью для Кейптауна, Южная Африка. Это дает температуру точки росы 20,5°C.

Охлажденная вода в змеевике чиллера Т поглощает тепло из воздуха и при этом немного нагревается. И змеевик чиллера Т снаружи, который направляется к выходному трубопроводу (C1), представляющему конденсат из воздуха, и змеевик внутри, который направляется к возвратному трубопроводу (C2), по которому проходит нагретая остаточная охлажденная вода, направляются в резервуар для воды. Вода, подаваемая таким образом в резервуар, будет иметь температуру около или немного выше заявленной точки росы.

Ссылаясь также на **Фигуру 2**, в соответствии с изобретением, ГАВ включает в себя АТТ, который сконфигурирован как тепловой насос для рекуперации тепла из окружающего источника воды в этом варианте осуществления. Следующие функции помечены на Фигуре 2 для справки при чтении этого описания:

- 2-фазная бинарная смесь после впрыска пара (A3);
- бинарная смесь на выходе из абсорбера (A4);
- выход ЦВ с подогревом (A5);
- выход ЦВ камеры переохладителя с подогревом (A6);
- вход ЦВ окружающей среды в камеру переохладителя (A7);
- вход насоса переохлажденной бинарной смеси (A8);
- выход насоса переохлажденной циркуляции (цирк) (A9);
- выпуск жидкого NH_3 высокой концентрации (B1);
- поглощаемый пар из испарителя (B5);
- перекачиваемая жидкая смесь с высоким содержанием $\%\text{NH}_3$ (B6);
- вход ЦВ в испаритель (B7);
- охлажденная ЦВ на выходе из испарителя (B8); а также
- вход ЦВ окружающей среды в АТТ (B9).

АТТ состоит из испарителя, абсорбера и барботажного реактора или дистилляционной колонны. Испаритель служит теплообменником водяного охладителя (Т). Движение жидкости между оборудованием АТТ создается тремя насосами.

В этом варианте осуществления АТТ использует концепцию псевдоизобарического температурного скольжения в бинарной смеси аммиак-вода ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$). Бинарная парожидкостная смесь содержится в ректификационной колонне теплообменника. В вариантах изобретения можно также использовать другую бинарную парожидкостную

смесь.

Два технологических насоса работают с бинарной смесью $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ в качестве рабочей среды, а именно:

- Главный технологический насос испарителя (или насос NH_3); а также
- Циркуляционный насос абсорбера бинарной смеси (или циркуляционный насос).

Два технологических насоса, которые находятся в непосредственном контакте с высококоррозионной бинарной средой $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, должны быть как без уплотнений, так и с магнитным приводом, чтобы гарантировать отсутствие необходимости герметизации вращающегося вала для предотвращения попадания среды NH_3 в окружающую среду.

Третий насос - это насос циркуляционной воды (ЦВ) (или Водяной Насос). Этот водяной насос не является частью замкнутого термодинамического цикла.

Конструкция испарителя АТТ в текущем варианте осуществления такова, что охлажденная вода может производиться при температуре до 2°C . В результате ГАВ будет продолжать работать и производить воду с температурой (C_3) даже при очень низкой влажности (например, менее 30 %) с температурой точки росы ниже 6°C при выбранной температуре окружающей среды 25°C . Производительность машины ГАВ, очевидно, уменьшится в массовом расходе при такой низкой влажности.

В конструкции машины ГАВ, показанной на Фигуре 1, предусмотрен электрический вентилятор. Вентилятор направляет окружающий воздух через осушающий холодный змеевик машины ГАВ. Холодный змеевик охлаждает воздух до тех пор, пока он не достигнет точки росы, после чего вода конденсируется из воздуха. Осушенный охлажденный воздух выходит из машины, а собранная вода, сконденсированная из воздуха, направляется в резервуар для воды.

Холодный змеевик может иметь увеличенную площадь теплообмена, образованную множеством ребер, покрывающих трубы. Массовый расход охлажденной воды, проходящей через змеевик чиллера Т, определяет тепловую нагрузку осушителя и может регулироваться регулируемым клапаном (не показан) для управления тепловой нагрузкой. Окружающий воздух может быть предварительно обработан до того, как он попадет в холодный змеевик, чтобы облегчить извлечение воды.

Барботажный реактор представляет собой дистилляционную колонну с теплообменником прямого контакта (Т), работающую по принципу псевдоизобарического скольжения температуры. Колонна с бинарной зеотропной смесью, запечатанная в поле силы тяжести, используется с теплом, подводимым к нижней части дистилляционной колонны для выпаривания более летучего компонента. В текущем варианте осуществления используется бинарная парожидкостная смесь аммиак-вода ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$), где NH_3 является летучим компонентом.

Бинарная смесь с более высокой плотностью и более низкой концентрацией NH_3 нагревается и мигрирует на дно барботажного реактора за счет гравитационной силы, действующей на компонент с более высокой плотностью. Высвобожденный летучий компонент NH_3 , который испаряется в виде пара, будет реабсорбироваться выше в барботажном реакторе, увеличивая концентрацию $\%\text{NH}_3$. Бинарная парожидкостная смесь, в которой реабсорбируется NH_3 , имеет более низкую плотность двухфазной смеси из-за более высокой концентрации NH_3 , а также присутствия пузырьков пара и образует поток, текущий к верхней части барботажного реактора из-за более низкой плотности в гравитационном поле.

Этот процесс перегонки (концентрация NH_3), в котором восходящий поток смеси приводится в действие реакцией парового лифта, является эндотермическим процессом, поглощающим тепло смеси, когда она течет вверх в поле силы тяжести. Эндотермический процесс потока NH_3 в восходящем направлении концентрирует NH_3 и охлаждает смесь, создавая холодную верхнюю часть колонны с высоким содержанием $\%\text{NH}_3$.

Когда NH_3 растворяется в H_2O , процесс разбавления представляет собой экзотермический нагрев смеси, противоположный процессу дистилляции. В процессе концентрирования NH_3 , движущегося вверх, пузырьки пара постепенно поглощаются, вырабатывая тепло для высвобождения большего количества пузырьков пара NH_3 , движущихся вверх, аи чем выше температура, тем ниже $\%\text{NH}_3$ жидкость с более высокой плотностью вытесняется вниз под действием силы тяжести. Поток нагретой жидкости с низкой концентрацией NH_3 увеличивается в массе и температуре по мере того, как он течет вниз, также образуя горячий поток в прямом контакте с более холодным двухфазным потоком с низкой плотностью, текущим вверх, и поэтому теплообмен происходит в этом непосредственном контакте противоточного двухпоточного

«теплообменника» по длине барботажного реактора.

Градиент температуры (горячая область внизу и холодная область сверху) в барботажном реакторе при практически постоянном давлении (почти изобарическом) и остающемся насыщенным по всему барботажному реактору, сопровождаемый градиентом концентрации NH_3 (высокий % NH_3 в верхней части и низкий % NH_3 на дне) обеспечивает псевдоизобарическое температурное скольжение.

Даже при отсутствии подвода тепла, при стагнации потоков, градиенты, возникающие в барботажном реакторе, будут рассеиваться чрезвычайно медленно, только за счет лучистого и кондуктивного тепловыделения, поскольку конвекция (к которой мы привыкли в чистых жидкостях, таких как вода) подавляется, а столб остается в гравитационном силовом поле. Различия в плотности между низом и верхом сохранят установленные градиенты.

В колонне, которая не полностью герметизирована, но с массовым потоком, нагнетаемым в нижнюю часть колонны и удаляемым из верхней части колонны, процесс остается (по существу) идентичным тому, что уже было описано, до тех пор, пока диаметр колонны достаточно велик (например, поддерживая среднюю долю пустот около 20%), чтобы обеспечить достаточное пространство для вертикального потока и не мешать двум встречным потокам жидкости.

В барботажном реакторе плотность насыщенной жидкости самая высокая внизу (В4) и уменьшается почти линейно с высотой до самой низкой плотности сверху. Во всех зонах барботажного реактора бинарная парожидкостная смесь находится при температуре насыщения, соответствующей изобарическому давлению в колонне.

Ссылаясь также на **Фигуру 3**, в соответствии с изобретением АТТ включает в себя камеру переохладения, которая соединена с абсорбером. Следующие функции и ссылки отмечены на **Фигуре 3** для справки при чтении этого описания:

- струя переохлажденной бинарной смеси (A1);
- жиклер впуска пара (A2);
- 2-фазная бинарная смесь после впрыска пара (A3);
- бинарная смесь на выходе из абсорбера (A4);
- выход ЦВ с подогревом (A5);

выход ЦВ камеры переохладителя с подогревом (A6);
вход ЦВ окружающей среды в камеру переохладителя (A7);
вход насоса переохлажденной бинарной смеси (A8);
выход переохлажденного (циркуляционного) насоса (A9);
выпуск жидкого NH_3 в высокой концентрации (B1);
нисходящий поток нагретой жидкости с низким содержанием $\%\text{NH}_3$ (B2);
подъем пара с высоким содержанием $\%\text{NH}_3$ в 2-фазный восходящий поток (B3);
вход двухфазной смеси барботажного реактора (B4); а также
поглощаемый пар из испарителя (B5).

Под барботажным реактором предусмотрена камера переохлаждения. Бинарная парожидкостная смесь в камере переохладителя находится в контакте с охлаждающим змеевиком, где от смеси отводится тепло. Вода из резервуара перекачивается из (A7) в (A6) через охлаждающий змеевик. Охлаждение при (практически) постоянной концентрации NH_3 приводит к переохлаждению с падением температуры бинарной парожидкостной смеси ниже уровня насыщения для давления в барботажном реакторе.

В верхней части камеры переохладителя, где бинарная парожидкостная смесь все еще остается насыщенной в точке (A4), температура составляет около 60°C , но из-за охлаждения температура на выходе из камеры переохладителя в точке (A8) падает примерно до 45°C , что соответствует охлаждающему эффекту около 15°C .

Плотность жидкости бинарной смеси в верхней части камеры переохладителя при температуре 60°C составляет около 985 кг/м^3 , а на выходе переохлажденной смеси в точке (A8) плотность жидкости составляет около 995 кг/м^3 при 45°C . Более холодная жидкость опускается на дно камеры переохладителя, где всасывающий патрубок Циркуляционного Насоса абсорбера всасывает жидкость.

На входе циркуляционного насоса абсорбера в точке (A8) давление барботажного реактора составляет $2,8 \text{ Bar Abs}$ и этот насос увеличивает давление до $3,09 \text{ Bar Abs}$ в позиции (A9), откуда переохлажденная жидкость нагнетается через сопло для снижения динамического давления в струе переохлажденной жидкости, поступающей в смесительную секцию абсорбера. Пар из испарителя также поступает в секцию смешения через паровое сопло и смешивается с сильно турбулентной струей переохлажденной жидкости, образуя тщательно перемешанный двухфазный столб парожидкостного потока,

обменивающийся теплом и массой по мере того, как пар поглощается переохлажденной жидкостью. Наиболее наглядно это показано на Фигуре 3.

На Фигуре 3 также показаны три вертикальных абсорбционных канала в абсорбере после секции смешения. Абсорбционные каналы 1, 2 и 3 устроены таким образом, чтобы использовать гравитацию для обеспечения нисходящего потока жидкости. Разница в плотности пара и жидкости пытается заставить пузырьки пара подниматься вверх в противотоке жидкости под действием силы тяжести. Общий эффект заключается в том, чтобы удерживать пар в контакте Т с жидкостью в течение более длительного времени, поглощая пар по мере прохождения потока, поэтому диаметры пузырьков пара становятся все меньше и меньше в направлении потока жидкости через поглотитель. Это еще больше увеличивает скорость тепло- и массопереноса, пока насыщенная жидкость с очень небольшим компонентом пара не достигнет выхода абсорбера в точке (А4).

Поскольку на выходе из абсорбера по-прежнему находится двухфазная смесь, расчетная плотность смеси в текущем варианте осуществления составляет около 210 кг/м^3 , несущий только необходимое количество энергии в форме скрытого пара, чтобы обеспечить барботажный реактор дополнительным теплом дистилляции, необходимым $8,09 \text{ кВт}$.

Полная комбинация абсорбер-барботажный реактор находится в равновесии давления, поэтому любое дополнительное тепло, присутствующее на выходе из абсорбера в точке (А4), будет генерировать слишком много пара, нагнетая в барботажный реактор мощность, превышающую требуемые $8,09 \text{ кВт}$, и увеличивая давление в барботажном реакторе. Для отвода этого дополнительного тепла с целью снижения давления до расчетного значения требуется дополнительное охлаждение.

Вода, выходящая из охлаждающего змеевика в переохладителе в точке (А6), поступает в змеевик абсорбера в абсорбере и выходит из абсорбера в виде горячей подаваемой воды в точке (А5). Массовый расход воды от циркуляционного водяного насоса используется для регулирования давления в реакторе до расчетного значения.

В процессе абсорбции в абсорбере, где пар контактирует с переохлажденной бинарной жидкостью и поглощается, выделяется не только тепло, но и давление, поскольку масса поглощаемого пара NH_3 увеличивает концентрацию жидкого NH_3 . Более

высокая концентрация NH_3 имеет более высокое давление насыщения, поэтому локальное давление легко увеличивается в точке поглощения. Поэтому важно, чтобы жидкость была переохлаждена, поэтому тепло абсорбции можно использовать для повышения температуры жидкости от переохлажденной до температуры насыщения вместо создания давления. Кроме того, следует как можно быстрее отводить тепло от поверхности парожидкостного контакта. По этой причине высокая скорость жидкости используется для создания турбулентности.

Скорость поглощения тепла в поглотителе зависит от:

- Площади T , рассчитанной как площадь поверхности пузырьков пара (и количество пузырьков) и диаметры пузырьков в смеси;
- Скорости отвода тепла от границы парожидкостного раздела, обусловленной турбулентностью и высокой скоростью потока жидкости;
- Относительного фрикционного движения (силы сдвига) потока пузырьков пара с более низкой плотностью по отношению к потоку жидкости с более высокой плотностью, создающей турбулентность, которая также отвечает за разбиение пузырьков пара на более мелкие пузырьки, генерируемое силовым полем, которое может включать силу тяжести и/или центробежную силу
; и/или
- Степени переохлаждения в потоке жидкости. Более высокое переохлаждение создает более высокие скорости теплопередачи без повышения местного давления.

Конструкция поглотителя может быть изменена для существенного увеличения скорости T за счет использования химических интенсификаторов процесса. При прочих равных параметрах изменение диаметра парового пузырька в парожидкостном контактном устройстве (например, барботажном реакторе и абсорберных колоннах) может существенно повлиять на объемную скорость теплообмена. Эффект увеличения силового поля от стандартной силы тяжести в 1G до силы в 10G, например, при сохранении всех остальных параметров равными, также обеспечит значительную скорость увеличения T .

Расчет баланса массы, тепла и компонентов по всему абсорберу, балансировка напорной, кинетической и энтальпийной составляющих как жидкой, так и паровой фаз, а также внешнего теплоотвода циркуляционной водяной рубашкой в двухфазном потоке, от области входа (смешивания) в (A3) до конечного выхода в (A4). В результате требование

переохлаждения 15°C (от температуры насыщения 60°C до температуры переохлаждения 45°C) обеспечивается для достижения правильного выходного давления при (A4), соответствующего давлению насыщения насыщенной смеси при (B4).

Жидкость из холодного NH_3 высокой концентрации в верхней части барботажного реактора отводится в точке (B1) и перекачивается Насосом NH_3 (или насосом испарителя) в испаритель. В этом варианте осуществления давление в испарителе регулируется на 1,5 Bar выше давления в барботажном реакторе с помощью регулятора давления жидкости, установленного на 4,3 Bar Abs.

Расчетная температура на входе в испаритель составляет $-10,3^{\circ}\text{C}$ на выходе регулятора давления, но из-за действия Насоса NH_3 жидкость переохлаждается на входе в испаритель в точке (B6). Нагреваясь внутри испарителя, она достигает температуры насыщения, близкой к 1°C (выбрана в конструкции таким образом, чтобы вода, охлажденная внутри испарителя, никогда не достигала условий замерзания) и начинает испаряться. По мере того, как все больше и больше NH_3 в форме пара испаряется внутри испарителя, остаточная концентрация NH_3 в жидкости уменьшается с соответствующим повышением температуры насыщения до конечного выхода пара (B5), при котором 90% (или более) жидкости испаряется, и выходной двухфазный паровой поток имеет температуру 15°C .

Таким образом, регулирование давления в испарителе служит для обеспечения того, чтобы теплота испарения отводилась в испарителе в диапазоне от 15°C до 1°C , при этом вода из окружающей среды, протекающая через испаритель от точки (B7) при температуре 25°C до охлаждаемой мощности 2°C . (B8).

Массовый расход окружающей воды через испаритель достаточно велик, чтобы из воды было извлечено 48,9 кВт тепла. Из этого тепла около 41 кВт поставляется в виде горячей воды на позиции (A5) при температуре 55°C , а остальное 8,09 кВт используется для процесса перегонки бинарной парожидкостной смеси.

Расчет, основанный на этих цифрах, дает реальный термодинамический коэффициент производительности теплового насоса с $\text{COP} = 0,83$, но с учетом того, что три жидкостных насоса вместе потребляют всего 240 Вт, параметры расчета производительности COPe для охлаждения = 204 и COPe для обогрева = 171. Расчет

считается довольно консервативным, при этом средний КПД насоса составляет всего 20 %, но при использовании насосов других типов (например, насосов с трубкой Пито) КПД может быть увеличен примерно до 50 %, что делает общее потребление электроэнергии всего 96 Вт. Показатели производительности (COPe) тогда будут выглядеть совсем по-другому, а именно COPe для охлаждения = 509 и COPe для отопления = 427.

АТТ описан выше в активном рабочем состоянии. Когда компоненты бинарной смеси $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, запаянные в машину, не используются, они будут распределяться по трубопроводам и резервуарам и в конечном итоге будут иметь (по существу) однородную концентрацию везде при температуре окружающей среды.

Чтобы перевести бинарную парожидкостную смесь в «активное» состояние, необходимо добавить энергию к комбинации абсорбер-барботажный реактор, чтобы создать температурный градиент в колонне барботажного реактора.

Этот АТТ считается активным, когда:

- (a) верхняя часть барботажного реактора имеет расчетную температуру (-10°C);
- (b) камера переохладителя, где она соединяется с барботажным реактором, находится при проектном высоком значении температуры (60°C); а также
- в) работают все три насоса.

Если бы система была спроектирована для извлечения тепла из источника с более высокой температурой, чем температура окружающей среды, запуск насосов постепенно увеличивал бы градиенты в барботажном реакторе, поскольку отходящее тепло с более высокой температурой, циркулирующее через испаритель, будет генерировать пар, запуская процесс.

Если конструкция предусматривает отвод тепла от источника тепла при температуре окружающей среды или даже ниже, запуск насосов не приведет к запуску системы, поскольку в испарителе не будет образовываться пар. Следует использовать некоторые средства или устройства для запуска процесса и получения пара для нагревания нижней части реактора. В качестве пусковых устройств можно использовать несколько различных методов и устройств, например:

1. Используйте внешний вакуумный насос/компрессор с электрическим приводом для удаления паров из верхней части барботажного реактора и сжатия их на входе абсорбера. Удаление пара из верхней части барботажного реактора привело бы к падению давления и испарению некоторого количества паров NH_3 , удаляя скрытую теплоту испарения жидкости из верхней части барботажного реактора и охлаждая ее. Одновременно сжатый пар, впрыскиваемый в абсорбер, будет поглощаться, выделяя тепло в камере переохлаждения. Как только достигнуты расчетные температуры при правильном давлении в барботажном реакторе, вакуумный насос просто отключается, так как тепло, отводимое в испарителе при нормальной работе, в дальнейшем будет поддерживать условия расчетного градиента.

2. Установите в испаритель нагревательный элемент для генерирования пара электрическим способом (или с помощью какого-либо внешнего источника тепла) для запуска. Это, вероятно, было бы лучшим пусковым устройством, поскольку внешним источником тепла для пуска может быть даже низкотемпературный источник отработанного тепла, если он имеет более высокую температуру, минимум на 10°C выше температуры насыщения бинарной парожидкостной смеси при контролируемом давлении в испарителе 3,3 Bar (G). Запуск более высокого давления в барботажном реакторе может ограничить скорость запуска, однако, поскольку на начальной стадии запуска, когда камера переохлаждения и циркуляционная вода (ЦВ) имеют одинаковую температуру, тепло не будет отводиться из камеры переохлаждения, при в результате отсутствие контроля давления в барботажном реакторе. Использование разумной возможности превышения давления барботажного реактора в конструкции должно сделать это пусковое устройство, представляющее собой регулируемый электрический нагревательный элемент, самым дешевым практическим пусковым устройством. Ограничение подводимого тепла за счет выбора достаточно маленького нагревательного элемента также решит проблемы превышения давления.

3. Чтобы избежать упомянутой реакции избыточного давления в барботажном реакторе во время запуска, нагревательный элемент в испарителе может генерировать пар, но вместо того, чтобы вводить его непосредственно в абсорбер, для запуска он может быть направлен и использован для питания эжектора, который будет выполнять ту же функцию, что и первый упомянутый вакуумный насос, только намного дешевле.

4. Установите нагревательный элемент в камеру переохладителя, который

можно включить для запуска. Первоначальный запуск всех трех насосов не приведет к запуску АТТ, так как нигде не образуется пар. Нагрев камеры переохладителя направит NH_3 к верхней части барботажного реактора, создав более высокую концентрацию NH_3 , необходимую в перекачиваемой жидкости, из которой испаритель будет генерировать пар, поскольку давление поддерживается постоянным. Однако для достижения «активных» условий в барботажном реакторе потребуется намного больше времени, и существует риск подвода слишком большого количества тепла, в результате чего давление в барботажном реакторе станет опасно высоким.

Активация барботажного реактора (запуск) с использованием метода 2 обычно происходит следующим образом:

- Первоначально бинарная парожидкостная смесь при (расчетном значении) концентрации 50% NH_3 во всей системе и, следовательно, также в испарителе при постоянном давлении, контролируемом на уровне 3,3 Bar (G), имеет температуру насыщения 34,32°C. Включается пусковой нагреватель, генерирующий пар при этой температуре насыщения. Этот пар, поглощаемый абсорбером, повышает температуру смеси, концентрируя NH_3 в барботажном реакторе с наибольшей концентрацией в верхней части барботажного реактора. Этот жидкий NH_3 с более высокой концентрацией в точке всасывания насоса перекачивается в испаритель.
- Предположим, смесь теперь, например, 55% NH_3 , температура насыщения снижается до 27,21°C для образования пара при температуре насыщения. Процесс абсорбционного нагрева и дистилляция NH_3 в верхней части барботажного реактора теперь обеспечивают, например, 60% NH_3 к насосу.
- По мере того, как смесь испарителя постепенно увеличивает % NH_3 до 60%, при этом температура насыщения падает до 21,05°C, образуя пар при этой более низкой температуре.
- Со временем концентрация смеси в испарителе постепенно увеличивается, постепенно понижая температуру насыщения. Когда концентрация достигает 75% NH_3 , температура насыщения падает до 8,13 °C, все еще при контролируемом давлении 3,3 Bar (G), что значительно ниже температуры окружающей среды, что позволяет циркулирующей воде окружающей среды при более высокой

температуре постоянно прокачиваться через испаритель, чтобы взять на себя функцию образования пара, выполняемую пусковым нагревателем. На этом этапе пусковой подогреватель может быть выключен, так как включится нормальный режим АТТ. Расчетные условия будут достигнуты в барботажном реакторе вовремя.

Замена или дополнение гравитационного силового поля, необходимого как для абсорбера, так и для барботажного реактора, описанного выше, полем центробежной силы будет иметь преимущества в эффективности, которые позволят использовать сосуды уменьшенных размеров.

Физические размеры оборудования Т напрямую зависят от скорости теплообмена, достижимой в полях потоков. Хотя эта скорость высока из-за непосредственного контакта парожидкостных смесей, использование винтовых трубок или вращающихся каналов может обеспечить в 2-3 раза более высокие скорости Т из-за как центрифуги (плавучести), так и силы Кориолиса во вращательных системах. Это усовершенствование позволит физическим Т каналам и контейнерам быть в два раза меньше по размеру, чем машины, эквивалентные гравитации.

Насосы, необходимые для стандартной гравитационной системы (как описано выше), обычно имеют очень низкий термодинамический КПД. Одним из примеров Насоса NH_3 может быть лопастной бессальниковый насос с магнитной муфтой, но изэнтропический КПД составляет всего 15%. Точно так же Циркуляционный Насос абсорбера центробежной конструкции с герметичным ротором может обеспечить КПД всего 18%. Эти отдельные насосы можно легко интегрировать во вращательную систему, используя принципы насоса с трубкой Пито. Использование насоса с трубкой Пито, идеально подходящего для приложений с низким расходом и высоким давлением, может повысить изэнтропический КПД примерно до 50%-65%. Кривая работы этих типов насосов, как правило, очень плоская, с очень небольшим изменением эффективности насоса при увеличении расхода от 0% до 100%. Интеграция этих насосов (вместе с циркуляционным водяным насосом и внутренним масляным насосом) также устраняет необходимость в магнитной муфте, что делает интегрированную комбинацию меньше, дешевле и приводится в действие одним внешним электродвигателем. Фиксированная скорость вращения должна соответствовать физической установке и может достигать 1000-1500 об/мин на очень маленьких машинах, в то время как более крупные машины

будут иметь гораздо более низкие скорости вращения, например 100-300 об/мин.

На **Фигуре 4** показан встроенный модуль, включающий вращающийся (или свернутый) абсорбер и барботажный реактор со встроенным Насосом NH_3 , Циркуляционный Насос абсорбера и водяной насос, объединенный с собственным внутренним масляным насосом, питающим подшипники и уплотнения. Проиллюстрированный модуль можно относительно легко масштабировать от нескольких кВт до нескольких МВт.

Система, использующая этот комбинированный модуль, обеспечивает упрощенную конфигурацию с тем преимуществом, что все технологическое оборудование $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ заключено надлежащим образом в герметичный корпус модуля. Полный АТТ будет состоять из одного из этих комбинированных модулей в сочетании с внешним испарителем.

Запуск системы (т. е. активация псевдоизобарического скольжения по температуре) в этом варианте осуществления будет достигаться путем добавления пускового нагревательного элемента во внешний испаритель. Внутри модуля рабочее давление в реакторе регулируется путем регулирования расхода горячей воды на выходе, циркулирующей внутри через охлаждающие каналы. Единственное внешнее управление, которое требуется, будет включать регулятор давления для регулировки давления жидкости, поступающей во внешний испаритель, поскольку линия возврата пара возвращает пар и жидкость (во взвешенном состоянии) обратно в модуль. Контроллер температуры для регулирования массового расхода охлажденной воды до определенной температуры охлаждения, например, 2°C , завершал бы компоновку АТТ.

Модульная конструкция АТТ имеет преимущества конструкции, заполнения NH_3 и ввода в эксплуатацию модуля в заводских условиях, где испытательный стенд с многочисленными измерительными приборами может быть соединен с обычно закрытыми испытательными линиями через гибкий пучок трубок из ПТФЭ малого диаметра для целей ввода в эксплуатацию. Использование модуля на объекте пользователя не требует работы с NH_3 (если испаритель также подключен на заводе). Пользователю не потребуется доступ к содержимому оборудования внутри модуля.

ГАВ по изобретению включает в себя АТТ, разработанный как практичный

тепловой насос, способный извлекать тепло даже из источников сбросного тепла при температуре окружающей среды или ниже, с испарителем, работающим при благоприятной расчетной температуре (предпочтительно от 2°C до 15°C).

АТТ использует окружающее тепло для обеспечения процесса осушения вместо гораздо более дорогого электричества, используемого обычным чиллером или тепловым насосом VC. Тепловая энергия для питания ТТ извлекается из низкотемпературной стороны, а при работе ГАВ она буквально забирает тепло из воздуха для питания машины. Энергия поступает из скрытой теплоты конденсации при температуре точки росы водяного пара, присутствующего в виде влаги в атмосферном воздухе. Энергия, необходимая для охлаждения воздуха до точки росы, восстанавливается, когда охлажденный, осушенный воздух используется в качестве хладагента для снижения температуры влажного атмосферного воздуха до точки росы.

Сочетание возможности водяного охлаждения АТТ с ГАВ оптимизирует производство воды при снижении потребления электроэнергии, а также обеспечивает более низкую температуру охлаждения для работы ГАВ даже при очень низкой влажности с точкой росы на уровне 3–4°C. Электричество, используемое для перекачивания жидкости, обычно на несколько порядков меньше, чем для сжатия пара.

Изобретение предлагает недорогой тепловой насос в качестве АТТ для выработки как тепла, так и холода из доступной тепловой энергии окружающей среды и использует эффекты охлаждения для запуска процесса ГАВ.

Охлажденная и/или нагретая вода также может использоваться для других целей, таких как системы кондиционирования и охлаждения или системы горячего водоснабжения. Использование АТТ для откачки тепла в таких приложениях может обеспечить значительно большую производительность при том же используемом электричестве. С учетом того, что значительное количество всей вырабатываемой в мире электроэнергии используется для охлаждения и кондиционирования воздуха, значение изобретения представляет собой далеко идущие преимущества.

ГАВ по изобретению снижает затраты на производство воды в энергетическом выражении до выгодного для окружающей среды и коммерческого значения. Таким образом, он может хорошо конкурировать с муниципальными тарифами на воду и

технологиями опреснения.

Специалист в данной области техники поймет, что в характеристики описанного в настоящее время варианта осуществления можно внести ряд изменений, не выходя за рамки объема изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Генератор атмосферной воды, который включает в себя:
 - холодный змеевик для извлечения атмосферной воды из воздуха;
 - барботажный реактор с псевдоизобарическим температурным скольжением, который содержит подходящую бинарную парожидкостную смесь в среде перегонки с разделением по плотности, приводимый в действие процессом абсорбции паров;
 - источник воды, соединенный с испарителем водоохладителя, с каналом потока охлаждающей воды на первой стороне испарителя водоохладителя, который изолирован от второй стороны испарителя водоохладителя и находится в тепловом сообщении со второй стороной испарителя водоохладителя;
 - линию подачи бинарной парожидкостной смеси из барботажного реактора, соединенная через насос испарителя со второй стороной испарителя водоохладителя, для испарения бинарной парожидкостной смеси и отбора тепловой энергии из воды в проточной части водяного охлаждения;
 - тракт потока охлаждающей воды, соединенный от испарителя водяного охладителя к охлаждающему змеевику; а также
 - линию возврата бинарной парожидкостной смеси со второй стороны испарителя водоохладителя, соединенная с абсорбером с выходом бинарной парожидкостной смеси, соединенным обратно в барботажный реактор.
2. Генератор атмосферной воды по пункту 1, в котором линия возврата бинарной парожидкостной смеси со второй стороны испарителя водоохладителя соединена через первый вход с абсорбером, а барботажный реактор соединен через циркуляционный насос абсорбера со вторым входом абсорбера.
3. Генератор атмосферной воды по пункту 1, в котором дистилляция с разделением по плотности в барботажном реакторе обеспечивается:
 - (а) гравитационной силой;
 - (б) центробежной силой, возникающей в бинарной парожидкостной смеси; или
 - (в) сочетанием гравитационной и центробежной сил, возникающих в бинарной парожидкостной смеси.
4. Генератор атмосферной воды по пункту 1, в котором установлен вентилятор для

перемещения воздуха из окружающей среды над холодным змеевиком.

5. Генератор атмосферной воды по пункту 1, в котором бинарная парожидкостная смесь представляет собой смесь аммиака и воды ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$).

6. Генератор атмосферной воды по пункту 1, в котором источником воды является резервуар для воды, соединенный через циркуляционный водяной насос с каналом потока охлаждающей воды на первой стороне испарителя водоохладителя.

7. Генератор атмосферной воды по пункту 2, в котором барботажный реактор включает камеру переохлаждения, расположенную под барботажным реактором, с бинарной парожидкостной смесью в камере переохлаждения, контактирующей с охлаждающим змеевиком для отвода тепла и переохлаждения бинарной парожидкостной смеси.

8. Генератор атмосферной воды по пункту 7, в котором вода прокачивается через охлаждающий змеевик камеры переохлаждения и из охлаждающего змеевика в абсорбирующий змеевик в абсорбере для выхода из абсорбера в виде горячей подаваемой воды.

9. Генератор атмосферной воды по пункту 8, в котором переохлажденный жидкий компонент бинарной парожидкостной смеси опускается на дно камеры переохлаждения, где переохлажденная жидкость всасывается всасывающим патрубком циркуляционного насоса абсорбера.

10. Генератор атмосферной воды по пункту 9, в котором переохлажденная жидкость из циркуляционного насоса абсорбера поступает в смесительную секцию абсорбера через сопло на втором входе, а пар из испарителя водяного охладителя поступает в секцию смешения через паровое сопло на первом входе, образуя смешанный двухфазный столб парожидкостного потока, обменивающийся теплом и массой по мере того, как пар поглощается переохлажденной жидкостью.

11. Генератор атмосферной воды по пункту 10, в котором абсорбер включает в себя множество вертикальных абсорбционных каналов ниже по потоку от секции смешивания, предназначенных для использования силы тяжести для обеспечения нисходящего потока жидкости с разностью плотностей между жидкостью и пузырьками пара, образующимися

в противотоке для увеличения контакта теплообмена между жидкостью и паром.

12. Генератор атмосферной воды по пункту 2, в котором давление на второй стороне испарителя водоохладителя регулируется выше давления барботажного реактора.

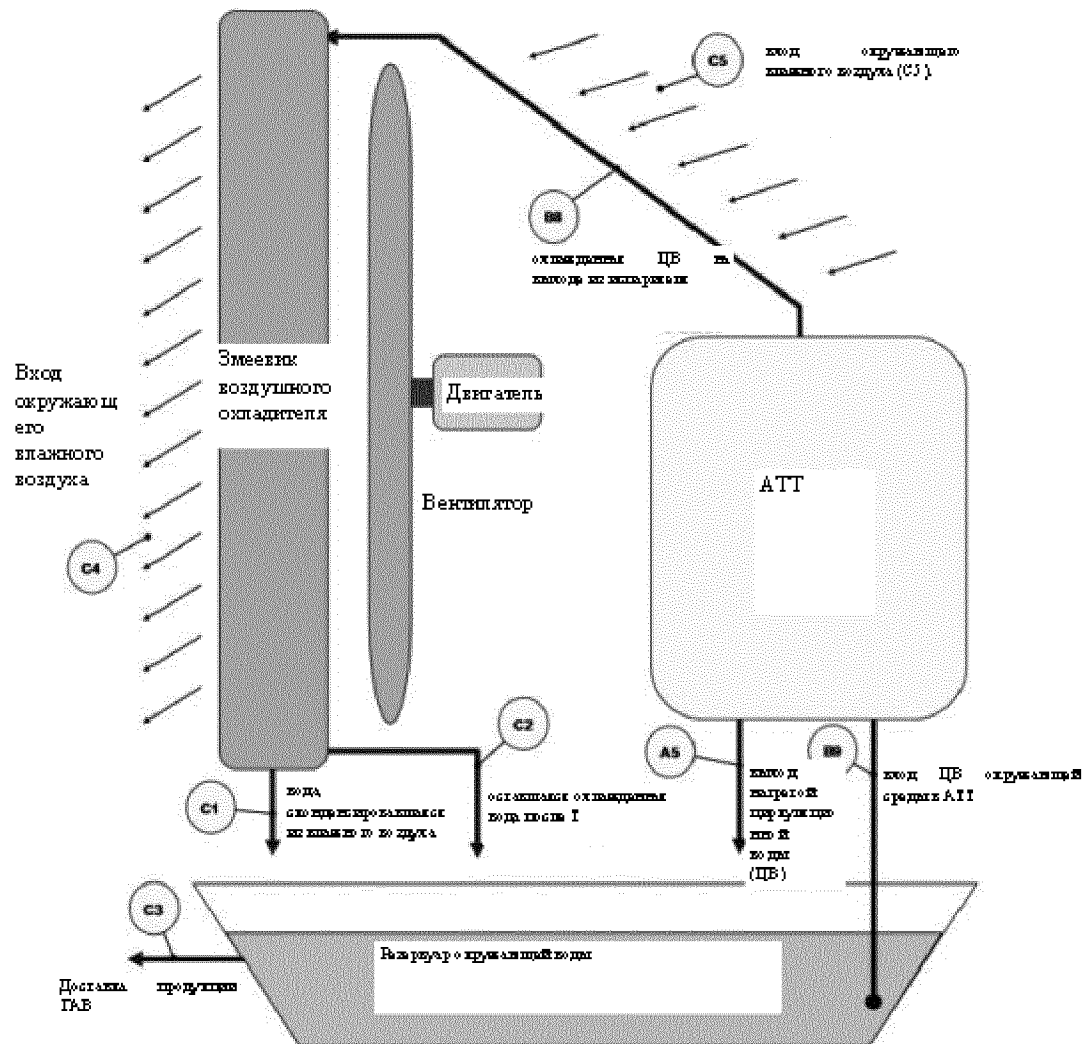
13. Генератор атмосферной воды по пункту 12, в котором бинарная парожидкостная смесь, поступающая в испаритель водоохладителя, переохлаждается, а затем нагревается внутри испарителя водоохладителя до температуры насыщения.

14. Генератор атмосферной воды по пункту 1, который включает в себя пусковое устройство для получения пара для нагревания днища барботажного реактора.

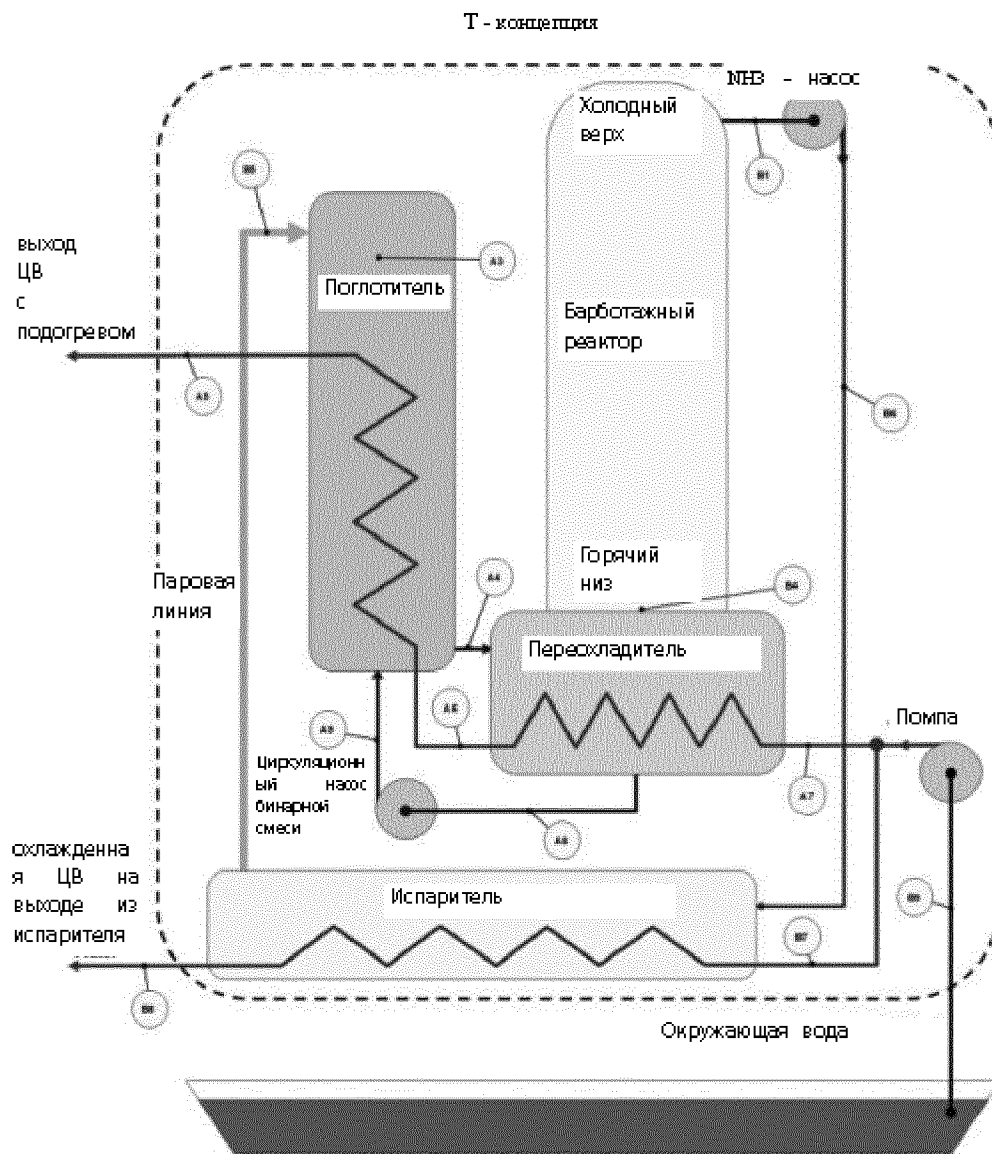
15. Генератор атмосферной воды по пункту 14, в котором пусковым устройством является нагревательный элемент в испарителе водяного охладителя, предназначенный для генерирования пара.

16. Генератор атмосферной воды по пункту 6, в котором насос испарителя и циркуляционный насос абсорбера, а также циркуляционный водяной насос объединены во вращающуюся систему.

17. Генератор атмосферной воды по пункту 6, который включает в себя встроенный модуль, включающий ротационный абсорбер и барботажный реактор со встроенным насосом испарителя, циркуляционным насосом абсорбера и циркуляционным водяным насосом, причем модуль соединен с испарителем водоохладителя, который расположен снаружи модуля.

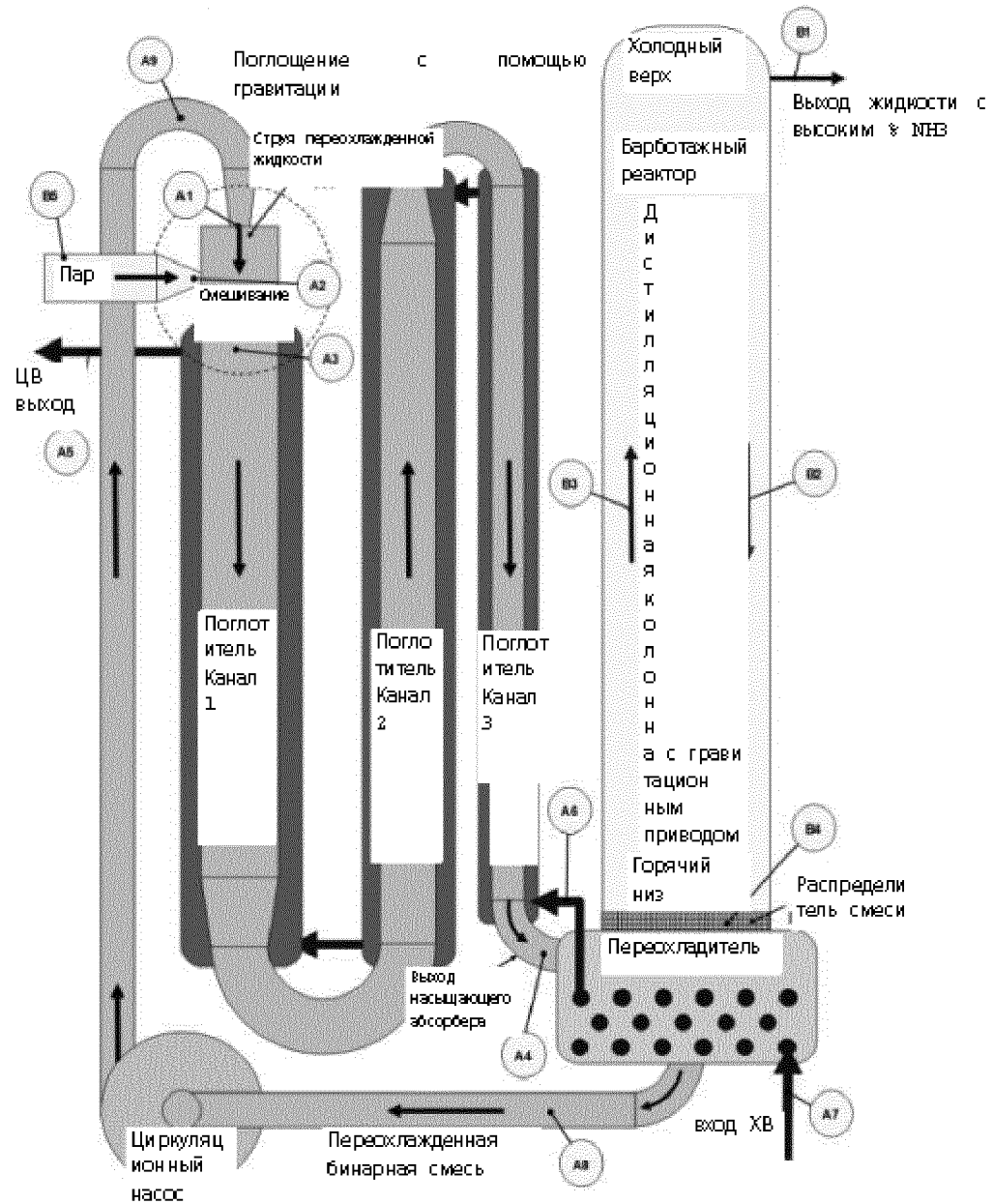


Фигура 1

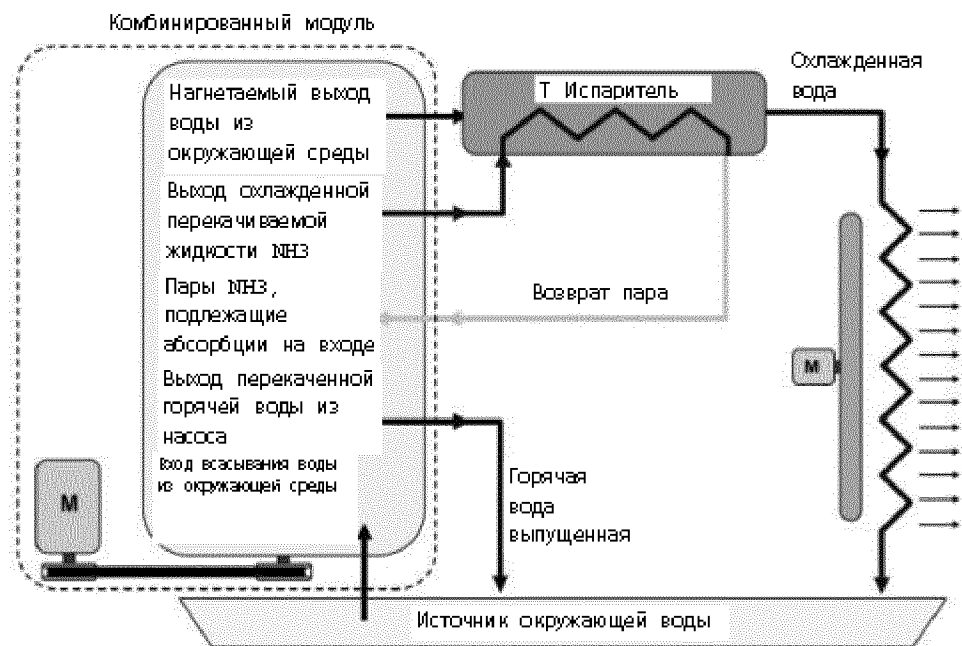


Фигура 2

Концепция абсорбера-переохладителя



Фигура 3



Фигура 4