

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039575**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.02.11

(51) Int. Cl. **B01D 3/32 (2006.01)**

(21) Номер заявки
201992454

(22) Дата подачи заявки
2018.04.13

(54) **КОЛОННА БОЛЬШОЙ ДЛИНЫ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ И СПОСОБ ЕЕ СБОРКИ**

(31) **102017000042150**

(56) JP-A-H1163808

(32) **2017.04.14**

EP-A1-0913655

(33) **IT**

GB-A-525575

(43) **2020.03.31**

WO-A1-8103360

(86) **PCT/IB2018/052581**

DE-A1-3219456

(87) **WO 2018/189717 2018.10.18**

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и патентовладелец:

ГАЛБИАТИ КРИСТИАНО (IT)

(74) Представитель:

Носырева Е.Л. (RU)

(57) Изобретение относится к области перегонки изотопов, полученных при помощи дистилляционных колонн. Целью настоящего изобретения является разработка инновационной дистилляционной колонны, которая обеспечивает значительные улучшения по сравнению с предшествующим уровнем техники, в частности дистилляционная колонна будет представлять собой инновационно задуманную колонну, имеющую любую необходимую высоту.

039575

B1

039575

B1

Область технического применения

Изобретение относится к области сепарирования изотопов, а именно, к способам, основанным на сепарировании перегонкой в очень высокой колонне, в частности, в настоящем изобретении описана инновационная задуманная колонна, состоящая из нескольких модулей, соединенных последовательно, установленных внутри резервуара и адаптированных таким образом, чтобы поддерживаться шахтным стволом или другой приспособленной конструкцией, для получения новых технических результатов на местах.

Предшествующий уровень техники

Изотопы химического элемента различаются по количеству нейтронов, содержащихся в ядре. Количество протонов, а следовательно, и число электронов, одинаково, как и химические связи изотопов. Изотопное сепарирование должно основываться на небольшой разнице в тех физико-химических свойствах, на которые влияет различие в массе изотопов элемента.

Среди различных методов, используемых для разделения изотопов, известной технологией изотопного разделения атомов и молекул легких элементов является непрерывная фракционная перегонка, обычно проводимая при криогенных температурах, поэтому часто называемая криогенной перегонкой.

В процессе непрерывной фракционной перегонки сырье (газ или жидкость) подается в перегонную колонну с помощью регулятора потока; перегонная колонна заполнена дистилляционными пластинами и/или структурированным наполнителем (с чередованием, при необходимости, с пластинами перераспределения жидкости), предназначенными для максимизации площади контакта между восходящим потоком пара и нисходящим потоком жидкости. В верхней части колонны конденсатор охлаждает и конденсирует восходящий поток пара, создавая нисходящий поток жидкости, который падает под действием силы тяжести сверху вниз; в нижней части колонны поток жидкости кипит в ребойлере, создавая восходящий поток пара, который течет от нижней к верхней части колонны и регулируется перепадом давления, создаваемым конденсацией пара в верхнем конденсаторе. Процесс непрерывной фракционной перегонки позволяет разделять (сепарировать) вещества или их компоненты, используя преимущества их селективного испарения. Вещества с более низкой упругостью пара концентрируются в нижней части колонны; вещества с более высокой упругостью пара концентрируются в верхнем конденсаторе; скользящие потоки разделяемых веществ могут быть извлечены во время процесса из верхнего конденсатора и из нижнего ребойлера.

При использовании для разделения изотопов процесс непрерывной фракционной перегонки концентрирует тяжелые изотопы, то есть те, которые характеризуются более низким давлением пара, в нижней части колонны; и легкие изотопы, характеризующиеся более высоким давлением паров, в верхней части колонны.

Наиболее важным параметром, определяющим скорость разделения изотопов и чистоту, достижимую в перегонной колонне, является отношение давления паров элементов, $\alpha(T)$, зависящее от температуры процесса T . Для разделения изотопов с помощью дистилляции отношение α обычно очень близко к единице (числу один), с очень маленькой разницей от единицы, $(\alpha-1)$, обычно порядка от нескольких частей на тысячу до нескольких частей на десятки тысяч, и практически постоянно в пределах небольшого температурного диапазона работы колонны, обычно выбираемого вблизи нормальной температуры кипения жидкости. Небольшая разница $(\alpha-1)$ определяет минимальное количество стадий равновесия, необходимых для эффективного сепарирования в перегонной колонне. Так называемое "правило Фенске" указывает, что минимальное число стадий, необходимое для эффективных масштабов разделения, равно $1/\ln(\alpha) \approx 1/(\alpha-1)$: это означает, что желаемое количество стадий равновесия для разделения изотопов чрезвычайно большое, от нескольких сотен до нескольких десятков тысяч.

Небольшая разница $(\alpha-1)$ также сильно ограничивает производительность и определяет энергию, необходимую для разделения изотопов: коэффициент обратного потока, определяемый как отношение массового расхода жидкости в колонне к массовому расходу дистиллята, т.е. отношение массового расхода паров, конденсированных в верхнем конденсаторе и отправленных обратно в колонну, к массовому расходу паров, конденсированных в верхнем конденсаторе и извлеченных в виде дистиллированной жидкости, для систем с некоторым количеством теоретических этапов вблизи теоретического минимума, установленного правилом Фенске, также имеет порядок $1/\ln(\alpha) \approx 1/(\alpha-1)$. Это означает, что доля конденсированных паров, которые могут быть извлечены в качестве полезного продукта, минимальна; это также подразумевает, что для конденсации пара требуется большое количество энергии для образования очень большого нисходящего потока жидкости; это также подразумевает, что для кипячения жидкости в нижней части колонны требуется такое же большое количество энергии для создания очень большого восходящего потока пара.

Следовательно, для эффективного использования непрерывной фракционной криогенной перегонки желательно наличие чрезвычайно высоких колонн высотой от нескольких сотен до нескольких тысяч метров, способных вместить от нескольких тысяч до нескольких сотен тысяч стадий равновесия; желательно наличие колонн очень большого диаметра, от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров, способных поддерживать требуемый очень большой восходящий поток пара и нисходящий по-

ток жидкости без возникновения проблемного состояния "затопления" колонны, которое подавляет очень эффективное равновесие между парообразной и жидкой фазами, требуемое для эффективного разделения изотопов.

Следует отметить, что на известном уровне техники криогенная перегонная колонна включала, по крайней мере, внутреннюю перегонную колонну, свободно стоящую и изолированную пассивным изоляционным материалом или находящуюся внутри криостата, то есть свободно стоящий резервуар, работающий под вакуумом, с внутренней технологической колонной, обернутой многослойной изоляцией (MLI) для минимизации теплопередачи. Невозможно построить свободно стоящие колонны, пригодные для криогенной перегонки и достигающие требуемой высоты в несколько сотен метров и более. Строительство, пуск и эксплуатация очень высоких колонн диаметром до нескольких метров требует использования дорогостоящих механических конструкций для их поддержки, стоимость которых масштабируется с высотой гораздо быстрее, чем стоимость колонны, которую они поддерживают. По этой причине самые высокие известные перегонные колонны имеют высоту не более 60-70 м.

Кроме того, при достижении требуемой высоты в несколько сотен метров благодаря инновационному уровню техники этого изобретения, как ожидается, большие перепады рабочей температуры криогенной перегонной колонны и температуры в окружающем помещении приведут к чистому тепловому сжатию колонны от доли метра до нескольких метров, в то время как окружающий резервуар подвергается более ограниченному тепловому расширению и/или сжатию из-за ограниченных колебаний температуры окружающей среды. Пример известного уровня техники, имеющего вышеуказанные проблемы, можно найти в описании документа GB 525, 575 от 1940 г., в котором описаны башни, используемые в химических процессах, такие как контактные башни, дефлегматоры и пузырьковые башни, в которых вес башни упруго поддерживается с равными промежутками по всей высоте. Башня содержит наложенную серию пузырьковых или контактных опорных элементов, некоторые или все из которых поддерживаются пружинами с равными интервалами по высоте башни, непосредственно или через внешние секции кожуха. Башня образована из однородных секций 2 из ферросилиция. Эти секции имеют форму котелка или цилиндра с конусообразными концами, несущими зажимные кольца, закрепленные гайками и болтами, некоторые из которых являются рым-болтами и зацепляются крюками, закрепленными на сжимаемых винтовых пружинах, опирающихся на кронштейны на внешней стальной раме. Дублирующие секции имеют внутренние периферийные фланцы, зацепленные внешними периферийными фланцами на пузырьковых элементах внутреннего контактора. Кроме того, благодаря использованию упругих опорных механизмов распределение веса башни становится непрерывным в случае ее расширения или сжатия из-за температурных колебаний во время использования.

Для специалиста в данной области техники сразу становится очевидным, что такая установка очень дорога, и ее высота не может быть увеличена до бесконечности, такая установка может достигать только вероятной высоты в 100 м, и, кроме того, она не теплоизолирована, что противоречит основной цели данного изобретения: эксплуатации колонны в качестве криогенной перегонной колонны. Кроме того, способ поддержки колонны с помощью пружин не позволял бы компенсировать расширение или сжатие колонны на несколько метров, что требуется для работы в качестве криогенной перегонной колонны. В документе EP 0913655 от 1999 г. описан способ создания удлиненной внутренней конструкции больших размеров, окруженной внешней конструкцией, причем указанная внутренняя конструкция представляет собой конструкцию, удерживающую жидкость, для формирования, по крайней мере, части установки подачи жидкости, что признается и самим заявителем: "Изобретение относится, в частности, к устройству колонн для перегонки при атмосферном давлении, высота которых может достигать 60 м, окруженных их опорными конструкциями", так что это отличается от цели настоящего изобретения и является еще одним примером вышеупомянутых ограничений существующего уровня техники. Задача изобретения состоит в том, чтобы предложить способ построения большой внутренней конструкции, окруженной внешней конструкцией, дающий возможность быстрой сборки на месте с учетом вертикальной напряженности колонны, а также предусматривающий предварительную сборку в цехе перед транспортировкой на место установки. В этой процедуре используются модули, каждый из которых выполнен из секции внутренней конструкции 1, заключенной в секцию внешней конструкции 5, собираемые на месте установки, что позволяет создать колонну необходимой высоты. Внутренняя и внешняя конструкции соединяются друг с другом, вставляя каждую внутреннюю конструкцию горизонтально во внешнюю, например, с использованием системы роликов 11 и рельсов 31, после чего две конструкции соединяются вместе, образуя модуль. Перед разделением этих модулей; для каждого модуля сборка завершается размещением защитной металлической пластины на соответствующем участке внешней конструкции, за исключением по крайней мере областей соединения с другими модулями; внутренняя конструкция - это перегонная колонна; внешняя конструкция является лишь опорной рамой; модули последовательно собираются от нижнего к верхнему модулю для возведения внутренней конструкции на месте. Специалисту в данной области техники будет ясно, что это всего лишь еще один пример конструкции перегонных колонн, имеющих недостатки, описанные здесь ранее; в частности, там не упоминается ни о какой теплоизоляции, не упоминается ни о каком резервуаре, покрытом изоляционным материалом, нет упоминания о каком-либо покрытом изоляцией резервуаре, подходящем для эксплуатации под вакуумом в каче-

стве криостата, максимальная высота составляет 60 м, и, кроме того, колонна строится в горизонтальном направлении внутри опорной рамы, которая должна быть поднята в вертикальное положение после завершения строительства колонны. Все эти характеристики делают этот способ бесполезным для целей настоящего изобретения. Фактически, настоящее изобретение требует способа конструирования, способного поддерживать конструкцию колонн длиной во многие сотни или тысячи метров; это требует наличия опор, уже установленных вдоль окончательного вертикального направления позиционирования колонны, например, для обеспечения возможности строительства колонны уже в окончательном вертикальном направлении и в конечном положении, в котором она будет запущена и эксплуатироваться, путем последовательной установки модулей колонны на указанных опорах. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления настоящее изобретение представляет собой криогенную перегонную колонну, требующую наличия теплоизоляционного резервуара, работающего под вакуумом в качестве криостата.

Таким образом, специалисту в данной области техники будет ясно, что упомянутые выше документы не относятся к ближайшему предшествующему уровню техники, так как настоящее изобретение касается использования непрерывной фракционной криогенной перегонки в колоннах высотой в несколько сотен метров, что стало возможным благодаря инновационному дизайну и методам, описанным в данном документе. Результаты, достижимые с помощью технологий, подробно изложенных в цитируемых выше документах, вместо этого ограничены структурными техническими проблемами, описанными выше.

Цели и сущность изобретения

Целью настоящего изобретения является преодоление недостатков предшествующего уровня техники.

В частности, целью настоящего изобретения является усовершенствование высоты и диаметра перегонной колонны существенным практическим путем.

Еще одной целью настоящего изобретения является описание криогенной перегонной колонны.

Еще одной целью настоящего изобретения является описание новой предложенной перегонной колонны для дистилляции изотопов для получения новых результатов в сепарировании изотопов.

Еще одной целью настоящего изобретения является описание новой предложенной перегонной колонны, которая позволяет достигать указанных результатов при разумных и доступных затратах на строительство.

Еще одной целью настоящего изобретения является описание новой предложенной перегонной колонны, которая является практичной для сборки, модули которой могут быть собраны в цехе и легко доставлены на место установки, где они собираются в окончательном положении (и при необходимости разбираются для технического обслуживания или других нужд).

Еще одной целью настоящего изобретения является описание новой предложенной перегонной колонны, которая может приспосабливаться к собственному тепловому расширению или сжатию и последующему напряжению.

Еще одной целью настоящего изобретения является описание новой предложенной перегонной колонны, которую можно практично отремонтировать в случае повреждений, к которой можно легко получить доступ, и чьи составные элементы можно легко заменить.

Еще одной целью настоящего изобретения является улучшение энергетических показателей перегонки.

Наконец, еще одной целью настоящего изобретения является описание новой предложенной перегонной колонны, которая позволит получать изотопы криогенной перегонкой с меньшими затратами.

Эта и другие цели настоящего изобретения будут успешно реализованы путем создания инновационной колонны для перегонки изотопов, которая содержит по крайней мере большое количество отдельных модулей, причем указанные модули могут быть меньшей или большей высоты; в частности, настоящее изобретение очень инновационным способом описывает инновационную криогенную перегонную колонну и способ сборки этой колонны, включающей, по крайней мере, нижний ребойлер, верхний конденсатор и центральную секцию колонны, причем указанная центральная секция колонны включает по крайней мере один или несколько центральных модульных элементов, причем упомянутые модульные элементы соединены со стенкой несущей конструкции посредством соединительных средств, при этом указанная колонна характеризуется тем, что один или несколько модулей включают, по крайней мере, еще один или более сильфон для компенсации теплового расширения или сжатия упомянутых модулей колонны путем сжатия или расширения сильфонов по всей высоте колонны.

В описываемом далее предпочтительном варианте осуществления указанный модуль или модули окружены изоляционным материалом.

В описываемом далее предпочтительном варианте осуществления указанный модуль или модули включают, по крайней мере, один изолированный элемент резервуара и по крайней мере один внутренний модульный элемент колонны, заключенный внутри указанного элемента резервуара. Объем между теплоизоляционным резервуаром и внутренним элементом колонны либо держится под вакуумом, а элемент колонны обернут многослойной изоляцией, либо может быть заполнен изолирующим материалом, который используется для работы колонны для криогенной перегонки, так что передача тепла миними-

зируется, и влияние большого изменения температуры внутренних модульных элементов на внешние элементы резервуара также сводится к минимуму. Таким образом, инновационная модульная перегонная колонна при криогенной температуре может работать как криогенная перегонная колонна.

В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения также один или несколько из указанных внешних теплоизолирующих элементов резервуара включают сильфоны, то есть часть резервуара заменяется на один или несколько сильфонов для компенсации теплового расширения или сжатия, вызванного изменением температуры окружающей среды, например, для поддержания общей высоты внешнего теплоизоляционного резервуара между его верхней и нижней фиксированными опорами. Наличие сильфонов во внешнем теплоизоляционном резервуаре также обеспечивает передачу веса каждого отдельного модуля на соответствующую индивидуальную опору несущей конструкции.

В описанном далее предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения, по крайней мере один теплоизоляционный резервуар включает несколько элементов перегонной колонны, и эти колонны работают параллельно и/или соединены последовательно. Таким образом, в предпочтительном варианте осуществления указанный по крайней мере один внутренний элемент колонны конструктивно соединен по крайней мере с одним внешним элементом резервуара в одной или нескольких точках посредством фиксированного соединения, или же такое соединение отсутствует, но части колонны и резервуара, отличные от этого соединения, свободны и могут свободно скользить друг по отношению к другу в осевом направлении. Таким образом, когда по крайней мере один внутренний элемент колонны во время процесса подвергается значительному тепловому расширению или сжатию в вертикальном направлении, внешний резервуар не испытывает механического напряжения из-за этого расширения или сжатия внутреннего элемента колонны.

В частности, в одном из предпочтительных вариантов осуществления упомянутый, по крайней мере, один внешний элемент резервуара и указанный, по крайней мере, один элемент внутренней колонны соединены в одной или нескольких точках с помощью неподвижного соединения, или же такое соединение отсутствует, и в одной или нескольких точках с помощью скользящих соединений, скользящих успокоителей, цепных соединений или других средств, которые позволяют ограниченную и минимальную регулировку положения внутренних элементов колонны относительно внешнего элемента резервуара в осевых направлениях, при этом части по крайней мере одного резервуара и внутреннего элемента колонны не соединены неподвижно, т.е. имеют возможность свободно скользить в осевом направлении для локальной компенсации теплового расширения или сжатия любой из их частей в пределах высоты модуля.

Что касается способа сборки этой инновационной криогенной перегонной колонны, в частности, в одном предпочтительном варианте осуществления, модули, формирующие колонну, будут установлены внутри шахтного ствола, что является только одним из возможных вариантов осуществления настоящего изобретения: для объема настоящего изобретения также можно использовать опорную башню или другую аналогичную конструкцию, при условии, что она может быть достаточно высокой, что не ограничивает область настоящего изобретения.

Это изобретение позволяет проектировать и строить колонны беспрецедентных размеров, высотой от сотен до тысяч метров и диаметром от нескольких сантиметров до нескольких метров, установленные внутри шахтного ствола или приспособленной конструкции и поддерживаемые указанным шахтным стволом или башней, предпочтительно состоящие из нижнего ребойлера, верхнего конденсатора и секции центральной колонны, преимущественно сформированной одним или несколькими инновационными центральными модулями.

В очень удобном способе шахтный ствол будет служить в качестве несущей конструкции указанной структуры, и это на самом деле является предпочтительным вариантом осуществления настоящего изобретения, так как шахтный ствол служит опорной рамой перегонной колонны, что позволяет, таким образом, избежать необходимости строить огромную и неразумно дорогую структуру над уровнем земли; тем не менее в любом случае следует обратить внимание, что в других вариантах осуществления для закрепления и поддержки модульных элементов инновационной колонны для изотопной перегонки могут быть использованы другие подобные поддерживающие конструкции в других местах, при условии, что эти структуры будут подходить для объема настоящего изобретения, что не ограничивает область настоящего изобретения.

Таким образом, в описанном здесь предпочтительном варианте осуществления несколько модулей, составляющих инновационную колонну, будут прикреплены к стенкам шахтного ствола для поддержки отдельных модулей, например, для обеспечения возможности строительства колонн высотой до нескольких тысяч метров и диаметром до нескольких метров. В идеале предпочтительно, чтобы отдельные модули колонны имели высоту в диапазоне от нескольких метров до нескольких десятков метров, чтобы их можно было легко транспортировать со строительной площадки, где они были изготовлены и испытаны, к шахтному стволу, где они будут проходить окончательную сборку.

Таким образом, этапы окончательной сборки сводятся к минимуму и состоят, преимущественно, в единственном соединении между последовательностями модулей, устанавливаемых друг на друга внутри шахтного ствола, причем соединение удобнее осуществлять только после того, как модули установ-

лены в их окончательном положении. (Еще один способ, которым могут быть собраны модули, будет описан здесь ниже со ссылкой на подробное описание чертежей в отношении по крайней мере одного предпочтительного варианта осуществления настоящего изобретения). Строительство новой модульной колонны будет результатом последовательной сборки модулей, снизу вверх по шахтному стволу.

Следует отметить, что создание перегонной колонны для изотопов, задуманной в модульном исполнении, очевидно, не является простым разделением известной перегонной колонны на отдельные модульные элементы; такие колонны, как описано выше, уже известны на существующем уровне техники: в настоящем изобретении было рассмотрено большое количество физических аспектов для создания инновационной модульной колонны, что позволит решить все описанные технические недостатки.

Таким образом, после доставки на место сборки модули опускаются в ствол шахты с использованием гезенка; они приводятся в положение, необходимое для соединения к другим модулям, уже как часть предварительно определенной последовательности; они предпочтительно прикреплены к стенам шахтного ствола и окружающим породам, например, будучи сначала присоединенными к платформе, которая, в свою очередь, прикреплена к конструкционным плитам, прикрепленным к стенкам опорной колонны или шахтного ствола, непосредственно или через другие конструктивные элементы, либо с помощью анкерных болтов или другого типа соединений со стенками шахты или с породой, окружающей стенку шахты, в том числе с помощью шпунтовых соединений, закрепленных в выемках, утопленных в стенках шахты или окружающей породе.

Таким образом, вес любого модуля переносится на ствол шахты и окружающие породы, когда указанный модуль находится в своем окончательном положении; и только после этого модуль соединяется сварными или фланцевыми соединениями с уже установленными модулями, последовательно продолжая строительство высокой перегонной колонны. Таким образом, перечислим некоторые из инновационных элементов, предложенных в данном изобретении: новое присоединение элементов колонны к стенкам шахтного ствола, для обеспечения структурной поддержки каждого модуля непосредственно стенками шахты и окружающей породой; наличие в корпусе каждого модуля расширяемых/сжимаемых секций, инновационно реализованных за счет введения в конструкцию сильфонов или других расширяемых/сжимаемых элементов, способных компенсировать значительное вертикальное тепловое расширение или сжатие, которое может возникнуть в колонне во время циклов строительства, запуска и, в особенности, эксплуатации: для колонн высотой в сотни метров, которые подвергаются термическому переходу между температурой окружающей среды и криогенной температурой до 300 К, расширение и сжатие нерасширяющихся/несжимающихся участков может достигать нескольких метров, которые должны быть компенсированы подстраиванием длины расширяемых/сжимаемых секций. Таким образом, эта конструкция существенно отличается от описанной в GB 525,575, где расширение или сжатие перегонной колонны компенсируется сжатием или удлинением пружин, соединенных с опорами самой колонны. Вместо этого в настоящем изобретении расширение или сжатие перегонной колонны компенсируется сокращением или расширением сильфонов, которые являются неотъемлемой частью модулей перегонной колонны (и окружающей теплоизоляционного резервуара), сохраняя неизменной общую вертикальную длину колонны между двумя крайними опорами сверху и внизу. Заметным преимуществом данного изобретения является то, что этот способ строительства подходит для строительства чрезвычайно высоких колонн. Напротив, метод, описанный в GB 525,575, не подходит для строительства колонн высотой более 100 м, потому что кумулятивная деформация колонны сверху вниз при функционировании колонны при криогенных температурах может вызвать сжатие колонны порядка метра, которое нецелесообразно компенсировать пружинами. В частности, следует обратить внимание, что, учитывая конкретное расположение пружин в соответствии с изобретением, описанным в GB 525,575, эти пружины просто используются (с ограничениями и проблемами, описанными здесь выше) для компенсации теплового расширения при переходе от температуры окружающей среды к рабочей температуре, но они не могут быть использованы для компенсации теплового сжатия, что, напротив, является основной проблемой, решаемой настоящим изобретением при использовании в качестве перегонной колонны и, в частности, криогенной перегонной колонны, которая особенно подвержена тепловому сжатию при переходе от температуры окружающей среды к рабочей температуре.

Таким образом, эти и другие уже известные проблемы, описанные выше, решаются с помощью настоящего изобретения, в частности, благодаря инновационному использованию сильфонов, которое будет дополнительно описано ниже на чертежах.

Как известно, шахтные стволы с общей вертикальной высотой от нескольких сотен до нескольких тысяч метров и диаметром в несколько метров легко доступны. Инновационная задуманная колонна и способ, описанные в настоящем изобретении, позволяют строить перегонные колонны с беспрецедентным количеством стадий равновесия, последовательно соединяя большое количество упомянутых инновационных задуманных модулей, каждый из которых поддерживается стенами шахтного ствола и окружающими породами. Количество стадий равновесия прямо пропорционально общей доступной высоте, причем каждая теоретическая стадия занимает от нескольких до нескольких десятков сантиметров в высоту.

Общее количество стадий равновесия, которое может быть достигнуто с помощью этой модульной

колонны, составляет от нескольких тысяч до нескольких сотен тысяч стадий, что является преимуществом данной конструкции.

Эта новая предложенная модульная колонна также дает возможность создавать элементы колонн с большими диаметрами, варьирующимися от десятков сантиметров до нескольких метров, что позволяет существенно улучшить скорость разделения изотопов и их чистоту.

В одном из вариантов осуществления перегонная колонна содержит полый корпус с внутренней цилиндрической стенкой, заполненный дистилляционными пластинами и/или структурированным наполнителем.

В одном из предпочтительных вариантов осуществления перегонная колонна окружена теплоизоляционным слоем.

В одном варианте осуществления теплоизоляционный слой можно получить, окружив перегонные колонны конструктивным теплоизоляционным резервуаром.

В одном варианте осуществления зазор между внутренней поверхностью теплоизоляционного резервуара и внешней поверхностью перегонной колонны заполняется теплоизоляционным материалом.

В одном варианте осуществления указанный теплоизолирующий материал, в частности, является вспученным перлитом, который обладает исключительной теплоизоляционной способностью и очень низкой теплопроводностью, которая гарантируется при всех температурах благодаря его высокой открытой пористости, которая также обеспечивает необычайную легкость. Благодаря низкой стоимости, простоте монтажа, негорючести и уменьшенной склонности удерживать влагу, он находит одно из основных применений в криогенном секторе промышленности, где требуются характеристики переохлажденного газа, демонстрируя свои бесчисленные преимущества как в процессе строительства, так и при практическом использовании.

В одном варианте осуществления наружная поверхность внутренней перегонной колонны покрыта многослойной изоляцией, а объем между внутренней поверхностью теплоизоляционного резервуара и внешней поверхностью перегонной колонны поддерживается под вакуумом при давлениях ниже 10^{-2} мбар для работы внутренней перегонной колонны внутри криостата.

В одном предпочтительном варианте осуществления теплоизоляционный резервуар содержит несколько элементов перегонной колонны, и эти колонны могут работать параллельно и/или могут быть соединены последовательно, связывая верхнюю часть одной колонны с нижней частью следующей колонны технологическими линиями, которые встроены либо внутри, либо снаружи теплоизоляционного резервуара, причем в последнем случае предусмотрена независимая теплоизоляция; в параллельной конфигурации колонны могут работать совместно или независимо друг от друга.

В одном варианте осуществления колонна изначально состоит из множества вертикальных модульных секций, которые, в свою очередь, соединены с другими вертикальными секциями с помощью фланцев или сварных соединений.

В одном варианте осуществления модульный теплоизоляционный резервуар состоит из множества вертикальных секций, которые также, в свою очередь, соединены с другими вертикальными секциями теплоизоляционного резервуара посредством фланцев или сварных соединений.

В одном предпочтительном варианте осуществления каждая или несколько вертикальных секций, составляющих внутреннюю колонну или комбинацию внутренней колонны и окружающего теплоизоляционного резервуара, снабжены одним или несколькими сильфонами, которые позволяют компенсировать значительное тепловое расширение или сжатие в вертикальном направлении, испытываемое колонной во время установки и особенно в процессе эксплуатации.

Также целью настоящего изобретения является улучшение энергетических характеристик перегонки путем инновационного введения экономичного контура рекуперации энергии; мощность охлаждения в верхнем конденсаторе и мощность нагрева в нижнем ребойлере распределяются через два теплообменника; имеется один замкнутый контур, содержащий теплообменную жидкость, которая используется в теплообменнике верхнего конденсатора в качестве хладагента для обеспечения охлаждающей мощности, необходимой для конденсации восходящего потока газа, достигающего верхнего конденсатора, в жидкую фазу; и она также используется в теплообменнике нижнего ребойлера в качестве нагревающей жидкости в нижнем ребойлере для обеспечения мощности нагрева, необходимой для кипения находящейся в жидкой фазе жидкости, подвергающейся дистилляции.

Следует обратить внимание, что использование единственной жидкости для теплообмена также является инновационным решением.

В одном варианте осуществления перегонку проводят при криогенной температуре, и жидкость, используемая в качестве жидкого хладагента в конденсаторе и в качестве нагревающей жидкости в ребойлере, представляет собой азот: азот циркулирует из ребойлера в конденсатор и из конденсатора в ребойлер через замкнутый контур; азот подается в теплообменник в верхнем конденсаторе в жидком виде, а испарение жидкого азота внутри теплообменника обеспечивает мощность охлаждения, необходимую для конденсации газового потока на восходящем потоке; рециркуляционный азотный компрессор повышает давление газообразного азота, выпускаемого теплообменником верхнего конденсатора, и направляет его в нижний ребойлер; в нижнем ребойлере газообразный азот поступает в теплообменник нижнего

конденсатора; в нижнем ребойлере высвобождение тепловой мощности сжатым азотом сразу вызывает кипение жидкого противотока жидкости, подвергающейся перегонке, и вызывает охлаждение азота, использованного в качестве теплообменной жидкости, который конденсируется в жидкую фазу; наконец, для замыкания контура азот, сжиженный в теплообменнике нижнего конденсатора, перекачивается криогенным насосом по теплоизолированной линии к теплообменнику верхнего конденсатора.

В одном варианте осуществления теплоизолированная линия, несущая жидкий азот от нижнего к верхнему теплообменнику, находится внутри теплоизоляционного резервуара колонн. В другом варианте осуществления теплоизолированная линия, несущая газообразный азот от верхнего к нижнему теплообменнику, находится внутри теплоизоляционного резервуара колонн. Следует обратить внимание, что использование азота в качестве единственной жидкости для теплообмена также является инновационным. В другом варианте осуществления криогенной перегонки в качестве хладагента азот замещается инертным элементом, таким как аргон, криптон или ксенон, которые позволяют расширить диапазон используемых рабочих температур просто используя в том же гидравлическом контуре другой элемент, характеризующийся другим диапазоном зависящих от давления температур для фазового перехода указанного элемента между состояниями жидкости и газа. Следует обратить внимание, что использование аргона, криптона или ксенона в качестве единственной жидкости для теплообмена также является инновационным.

Упомянутые здесь ранее беспрецедентные размеры и высота новой предложенной модульной колонны позволяют достигать количества стадий равновесия, варьирующихся от нескольких тысяч до нескольких сотен тысяч, необходимых для разделения изотопов аргона и ксенона. Отличие от единицы коэффициента летучести ($\alpha-1$) для изотопов аргона, таких как ^{36}Ar , ^{38}Ar , ^{39}Ar и ^{40}Ar , составляет порядка нескольких тысячных. ^{40}Ar , обедненный в ^{39}Ar , представляет особый интерес как цель для крупных объемов производства от нескольких тонн до нескольких сотен тонн, поскольку он используется в детекторах для поиска и обнаружения темной материи. В связи с упомянутым ранее "правилом Фенске" минимальное количество стадий, необходимое для эффективного разделения изотопов, составляет $1/\ln(\alpha) \approx 1/(\alpha-1)$. Это подразумевает, что желаемое число стадий равновесия для разделения изотопов чрезвычайно велико, от нескольких сотен до нескольких десятков тысяч.

Разделение изотопов аргона требует работы в криогенном диапазоне температур вблизи нормальной точки кипения аргона при 87 К и работы перегонной колонны внутри криостата. Минимальная производительность, равная нескольким килограммам в день изотопно-концентрированных изотопов аргона, требует из-за малых значений ($\alpha-1$) очень больших скоростей потока пара, порядка сотен стандартных кубических метров в час, и очень больших скоростей тока жидкости, порядка нескольких кубических метров в час. Желаемые скорости потока пара и жидкости могут быть достигнуты с помощью колонн с минимальным диаметром в несколько десятков сантиметров, оснащенных структурированными уплотнениями, способными выдерживать значительные скорости потока жидкости и пара при одновременном поддержании превосходного контроля поверхностей без создания условий затопления. Это может быть достигнуто с помощью уплотнений, имеющих предпочтительно высоту, эквивалентную высоте теоретической пластины (ВЭТП) в 10-15 см и более, и максимальную скорость тока жидкости в несколько $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Эти соображения определяют выбор минимальной высоты внутренней колонны в несколько сотен метров и минимального диаметра внутренней колонны в несколько десятков сантиметров. Теплоизоляционный резервуар, охватывающий суперизоляцию и несколько технологических линий, может легко достигать диаметра в несколько десятков сантиметров.

Использование шахтного ствола для установки криогенной модульной перегонной колонны позволяет добиться даже превышения размеров, необходимых для ее использования для производства изотопов аргона. Модульная криогенная перегонная колонна может быть установлена в существующем шахтном стволе для достижения диаметров в несколько метров и высоты до нескольких тысяч метров: это позволило бы использовать колонну даже для разделения изотопов ксенона, для которых значения ($\alpha-1$) на порядок ниже, чем для изотопов аргона, порядка нескольких долей на десятки тысяч. ^{136}Xe , обедненный другими изотопами ксенона, представляет особый интерес в качестве мишени для очень крупномасштабных экспериментов с целью его производства в объемах от нескольких тонн до нескольких сотен тонн для поиска крайне редкого и пока еще экспериментально не наблюдаемого способа ядерного распада, известного как "безнейтринный двойной бета распад".

Настоящее изобретение позволит очень выгодным и единственно возможным способом разделить изотопы аргона и ксенона в больших количествах (более нескольких килограммов в день).

В то же время настоящее изобретение значительно улучшило бы возможности получения и сделало бы гораздо более доступной стоимость легких изотопов, производство которых криогенной перегонкой в значительно меньших колоннах уже охватывалось предшествующим уровнем техники, включая, кроме прочего: ^{12}C и ^{13}C , полученные способами, включающими, кроме прочего, криогенную перегонку CO ; ^{14}N и ^{15}N , полученные способами, включающими, кроме прочего, криогенную перегонку N_2 , NO и NH_3 ; ^{16}O и ^{18}O , полученные способами, включающими, кроме прочего, криогенную перегонку H_2O , O_2 и NO .

Например, высота колонны 300 м, эквивалентная 2500 стадиями равновесия, с диаметром 30 см,

приведет к снижению уровня ^{39}Ag в потоке ^{40}Ag в 10 раз за один проход со скоростью производства около 10 кг/день; аналогичным образом, та же самая колонна будет непосредственно обогащать ^{13}C при изотопной чистоте 0,995 (99,5%) путем перегонки CO со скоростью кг/день; аналогичным образом, та же самая колонна будет непосредственно обогащать ^{15}N и ^{18}O при изотопной чистоте 0,995 (99,5%) путем дистилляции NO со скоростью кг/день.

Краткое описание чертежей

Эти и другие преимущества, полученные благодаря описанной здесь инновационной криогенной модульной колонне для разделения изотопов, будут дополнительно описаны ниже со ссылкой на неограничивающие примеры, которые представлены для пояснительных, неограничивающих целей на прилагаемых чертежах. Эти чертежи иллюстрируют различные аспекты и варианты осуществления данного изобретения, и, где это целесообразно, конструкции, компоненты, материалы и/или аналогичные элементы обозначены на разных фигурах одинаковыми номерами.

Фиг. 1 показывает предпочтительный вариант осуществления модульной перегонной колонны, установленной внутри шахтного ствола или несущей конструкции, и поддерживаемой боковыми стенками шахтного ствола или несущей конструкции в соответствии с настоящим изобретением;

фиг. 2 показывает предпочтительный вариант осуществления модульной перегонной колонны с включением экономичного контура рекуперации тепла в соответствии с настоящим изобретением;

фиг. 3 показывает предпочтительный вариант осуществления отдельных модулей колонны со ссылкой на их соединение и реализацию.

Подробное описание изобретения

Хотя изобретение допускает различные модификации и альтернативные конструкции, некоторые из проиллюстрированных вариантов осуществления показаны на фигурах и будут подробно описаны ниже.

Однако следует понимать, что нет намерения ограничивать изобретение конкретными проиллюстрированными вариантами осуществления, но, напротив, изобретение предназначено для охвата всех модификаций, альтернативных конструкций и эквивалентов, которые попадают в объем изобретения, как это определено в формуле изобретения. Использование фраз "такие как", "и т.д.", "или" указывает на неисключительные альтернативы без ограничений, если не указано иное.

Использование слова "включает" подразумевает "включает, но не ограничивает", если не указано иное.

На фиг. 1 показан упрощенный предпочтительный вариант осуществления инновационной модульной перегонной колонны 100, включающий опорную систему 7, установленную в шахтном стволе 2, ограниченном окружающими породами 1. В этом варианте завершенная перегонная модульная колонна 100 содержит конденсатор 3 и ребойлер 4, а также один или множество центральных модулей $5_1 \dots 5_n$. Каждый из центральных модулей 5 предпочтительно снабжен одним или несколькими сифонами 6 для компенсации теплового расширения или сжатия модульной колонны 100 в вертикальном направлении из-за больших перепадов между окружающей и рабочей температурой процесса.

Благодаря этой инновационной конструкции с сифонами, входящими в состав модулей, конечная высота колонны между верхней и нижней опорами всегда остается неизменной, независимо от каких-либо значительных перепадов температуры между окружающей и рабочей температурой процесса, потому что когда один или большее количество модулей колонны расширяются при увеличении температуры, изменение высоты компенсируется сжатием сифонов, входящих в состав упомянутого модуля (или также и других модулей), и когда модули сжимаются при понижении температуры, изменение по высоте компенсируется расширением сифонов, что позволяет очень выгодно поддерживать одинаковую высоту колонны и сохранять ее целостность в различных условиях эксплуатации, одновременно являясь очень инновационным и выгодным способом, позволяющим строить колонны любой необходимой высоты, даже выше 100 м. Некоторые или все вертикальные модули 5 соединены со стенками шахтного ствола. В одном варианте осуществления, вертикальные модули 5 прикреплены к стенкам шахтного ствола при помощи механической опорной системы 7, включающей, например, кронштейны или структурные опоры (показаны на фиг. 3), которые, в свою очередь прикреплены при помощи анкерных болтов 31 или другого типа соединений к стенкам шахты или породе, окружающей стенки шахты, в том числе с помощью шпунтовых соединений, закрепленных в выемках, утопленных в стенках шахты или окружающей породе.

Следует обратить внимание, что на фиг. 1 представлен упрощенный вариант осуществления настоящего изобретения, где модульные элементы 5 непосредственно соединены со стенками шахтного ствола.

В еще одном варианте осуществления вертикальные модули 5 установлены на платформах 29, обеспечивающих локальный доступ к колонне 100, которые, в свою очередь, прикреплены к стенкам шахтного ствола с помощью механических кронштейнов, которые, уже в свою очередь, прикреплены к стенкам шахтного ствола с помощью анкерных болтов 31 или других способов крепления, как описано выше. Стенки шахты могут быть голыми камнями или могут быть покрыты слоем бетона, железобетона, кирпича или другими подходящими для этого материалами.

В одном варианте осуществления конденсатор и/или ребойлер также прикреплены к стенкам шахт-

ного ствола с помощью механических кронштейнов, которые, в свою очередь, прикреплены к стенкам шахтного ствола с помощью анкерных болтов или других средств. В одном варианте осуществления конденсатор и/или ребойлер также установлены на платформах, обеспечивающих локальный доступ к ним, которые, в свою очередь, прикреплены к стенкам шахтного ствола с помощью механических кронштейнов, которые, уже в свою очередь, прикреплены к стенкам шахтного ствола с помощью анкерных болтов или других средств. В одном варианте осуществления конденсатор и/или ребойлер также включают секцию с одним или несколькими сильфонами для компенсации теплового расширения или сжатия колонны в вертикальном направлении.

Добавление системы экономичных теплообменников может снизить эксплуатационные расходы за счет восстановления энтальпии, израсходованной и полученной в ребойлере и в конденсаторе. Согласно фиг. 2, в одном варианте осуществления перегонку проводят при криогенной температуре, и теплообменная жидкость, служащая в качестве охлаждающей жидкости в конденсаторе и нагревающей жидкости в ребойлере, представляет собой азот или инертный элемент, такой как аргон или ксенон.

Теплообменная жидкость подается в виде жидкости в верхний конденсаторный теплообменник 11; мощность охлаждения, требуемая верхним конденсаторным теплообменником 11 для конденсации потока пара в жидкость, подвергающуюся разделению путем дистилляции в перегонной колонне, обеспечивается фазовым переходом теплообменной жидкости в газ; газообразный поток теплообменной жидкости, выпускаемый теплообменником верхнего конденсатора 11, сжимается под высоким давлением газовым компрессором 12 и направляется на вход теплообменника нижнего ребойлера 13; мощность нагрева, требуемая нижним теплообменником ребойлера 11 для кипения жидкого потока жидкости, подвергающейся разделению дистилляцией в перегонной колонне, обеспечивается фазовым переходом теплообменной жидкости из газа в жидкость; поток жидкой теплообменной жидкости, образующийся в теплообменнике нижнего ребойлера 13, подается через криогенный насос 14 в направлении теплообменника верхнего конденсатора, чтобы замкнуть контур.

Согласно фиг. 3, в одном варианте осуществления отдельные модули 5 колонны 100 включают по крайней мере один внешний теплоизоляционный резервуар 22; и по крайней мере один внутренний элемент колонны 23, завернутый в многослойную изоляцию (не показана на фиг. 3), за исключением последней секции, предназначенной для сварки с другими модулями 5 (этот участок будет покрыт многослойной изоляцией после выполнения сварки, как описано ниже); пространство 27 между теплоизоляционным резервуаром 22 и объемом 24 внутренней колонны 23 поддерживается под вакуумом; не показаны конструктивные опоры, соединяющие теплоизоляционный резервуар с внутренней колонной.

Каждый из указанных модулей или модульных элементов 5... 5_n, в частности, включает по крайней мере один теплоизоляционный резервуар, включающий элементы резервуара 22...22_n, окружающие элементы внутренней колонны 23...23_n.

Следует обратить внимание, что один теплоизоляционный резервуар 22 может включать один или несколько элементов внутренней колонны 23, образующих независимые колонны, которые могут работать вместе или независимо друг от друга.

В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения внутренний объем 24 внутренней колонны 23 является рабочим объемом, и он заполнен структурированным наполнителем и/или дистилляционными пластинами (чередующимися, при необходимости, с пластинами для распределения жидкости). Секция теплоизоляционного резервуара 22 предпочтительно заменяется одним или несколькими сильфонами 26, чтобы колонна могла приспособиваться к тепловому расширению или сжатию; в данном варианте осуществления секция внутренней колонны 23 также заменена сильфоном 25 для компенсации теплового расширения или сжатия. Следует обратить внимание, что сильфоны 25 играют важную роль для внутренней центральной перегонной колонны 23, которая подвергается наибольшему перепадам температуры и, следовательно, наибольшим циклам расширения или сжатия, из-за большой разницы между температурой окружающей среды и рабочей температурой процесса. Сильфоны 26 также могут либо применяться на внешнем теплоизоляционном резервуаре 22 (как показано здесь), либо не применяться.

В этой связи следует отметить, что пространство 27 между внешним теплоизоляционным резервуаром 22 и внутренней перегонной колонной 23 может быть использовано для прокладки служебных труб, таких как две линии, составляющие замкнутый контур теплообменной жидкости, перетекающей с верхней в нижнюю часть колонны, как показано на фиг. 2, а также для размещения линий подачи сырья для колонны и необходимых датчиков. В одном предпочтительном варианте осуществления сильфоны также используются на служебных трубопроводах (здесь не показаны), которые размещены в пространстве 27 между внутренней колонной 23 и внешним теплоизоляционным резервуаром 22, снаружи внутренней колонны и внутри внешнего теплоизоляционного резервуара.

Теплоизоляционный резервуар 22 соединен со структурными опорами 28, которые, в свою очередь, соединены с платформой 29, которая уже, в свою очередь, прикреплена к конструкционным плитам или опорам 30, присоединенным к стенкам шахтного ствола с помощью анкерных болтов 31 или другого типа соединений со стенками шахты или с окружающими твердыми породами, в том числе с помощью шпунтовых соединений, закрепленных в выемках, утопленных в стенках шахты или окружающей поро-

де. В другом варианте осуществления модульный элемент 5 непосредственно соединен с пластинами, прикрепленными к стволу шахты с помощью анкерных болтов. Когда самый нижний модульный элемент 5_n уже установлен, модуль 5_{n-1} , который должен быть расположен рядом с самым нижним модулем, опускается в шахту 21 и располагается таким образом, что секция внутренней колонны 23_{n-1} верхнего модуля 5_{n-1} может быть приварена к секции внутренней колонны 23_n самого нижнего модуля 5_n , сварные точки обозначены точками 33 (фиг. 3 показывает упрощенный вариант осуществления, поэтому в качестве примеров показаны только модули $5_n, 5$).

В этот момент многослойная изоляция (не показана на фигурах), используемая для уменьшения передачи тепла посредством излучения, оборачивается вокруг секции внутренней колонны, еще не накрытой теплоизоляционным резервуаром.

Внешняя гильза 32 предварительно располагается вокруг внешнего диаметра нижнего наружного теплоизоляционного резервуара, а затем приподнимается в позицию и приваривается к нижнему 22_n и ближайшему к нижнему 22_{n-1} элементам наружного теплоизоляционного резервуара, чтобы закрыть секцию криостата с помощью сварных точек 34.

Все остальные вставленные или последующие модульные элементы $5_1 \dots 5_{n-2}$ будут закреплены тем же или аналогичным способом, в обратном порядке от 5_{n-2} до 5_1 , до достижения желаемой рабочей высоты модульной колонны 100.

Следует обратить внимание, что модули могут быть соединены вместе также и другими подходящими способами или средствами, что является лишь незначительным изменением настоящего изобретения; в настоящем варианте сварка считается наиболее безопасным способом крепления этих модулей $5_n, 5_{n-1}, 5_{n-2}, \dots, 5_2, 5_1, 5$ ввиду значительного механического напряжения, которому, как ожидается, будут подвергнуты модульные элементы колонны 100.

В любом случае, следует обратить внимание, что как очень легко и практично можно соединить вместе модульные элементы $5_1 \dots 5_n$, так же легко и практично можно и разобрать некоторые модульные элементы, если это необходимо, для технического обслуживания, в случае повреждений, и т.д., что также является преимуществом настоящего изобретения, как и все другие, описанные здесь ранее.

Как указано, очень важным и инновационным аспектом, описанным в настоящем изобретении, который фактически позволяет построить и укрепить колонну настолько высокую, что это позволит получить все преимущества, описанные выше, является использование, по крайней мере, модулей $5 \dots 5_n$, один или несколько из которых включают по крайней мере еще один сильфон, который может компенсировать тепловое расширение или сжатие модулей за счет сжатия или расширения сильфона.

В предпочтительном варианте осуществления, в частности, указанные модули включают модульный резервуар 22 и модульные элементы 23 по крайней мере одной перегонной колонны, причем по крайней мере один из указанных модульных элементов 23 содержит один или несколько сильфонов.

Упомянутый по крайней мере один элемент внешнего резервуара 22 и указанный по крайней мере один элемент внутренней колонны 23 соединены в одной точке с помощью неподвижного соединения, или же такое соединение отсутствует, и в одной или нескольких точках с помощью скользящих соединений, скользящих успокоителей, цепных соединений или других средств, которые позволяют регулировать расположение элементов внутренней колонны относительно элемента внешнего резервуара в осевых направлениях, при этом части по крайней мере одного резервуара 22 и элемента внутренней колонны 23 не соединены фиксированными средствами, поэтому они могут свободно скользить в осевом направлении для локальной, в пределах высоты модуля 5, компенсации теплового расширения или сжатия любой из их частей.

Эти и другие цели настоящего изобретения достигаются с помощью модульной перегонной колонны, включающей признаки прилагаемой формулы изобретения, которая составляет неотъемлемую часть настоящего описания.

Таким образом, изменения высоты или диаметра модульных элементов, средств крепления к стенкам шахтного ствола, функциональных элементов модульной перегонной колонны, количества средств крепления, типа средств крепления между модулями - все это следует считать незначительными модификациями некоторых вариантов осуществления настоящего изобретения и они должны рассматриваться как охватываемые объектом настоящего изобретения, как описано выше, и лучше объяснено со ссылкой на прилагаемую формулу изобретения.

Библиография

1. Казанова С, Фиески Р. и Терзи Н. Расчет отношения давлений паров изотопов неона, аргона, криптона и ксенона в твердом состоянии. Новый пробный журнал. 18, 837-848 (1960).
2. Бигелейзен Дж. Статистическая механика изотопного воздействия на термодинамические свойства конденсированных систем. Журнал химической физики. 34, 1485-1493 (1961).
3. Боато Г., Казанова Г., Сколес Г., Валлаури М. Е. Давление паров изотопных жидкостей. Новый пробный журнал. 20, 87-93 (1961).
4. Фиески Р. и Терзи Н. Квантовые эффекты в жидком состоянии посредством использования феноменологической модели ячейки: отношение давлений паров изотопов неона и аргона. Физика. 27, 453-464 (1961).

5. Боато Г., Казанова Г., Леви А. Изотопический эффект в фазовых равновесиях. Журнал химической физики. 37, 201-202 (1962).
6. Боато Г., Сколес Г., Валлаури М. Е. Давление паров изотопных твердых веществ методом равноточного потока: аргон между 72°К и тройной точкой. Новый пробный журнал. 23, 1041-1053 (1962).
7. Анкона Е., Боато Г., Казанова Г. Давление паров изотопных жидкостей. Новый пробный журнал. 24, 111-121(1962).
8. Казанова Г., Леви А., Терзи Н. Среднеквадратичная сила в жидком аргоне и коэффициент разделения изотопов. Физика 30, 937-947 (1964).
9. Рашид К., Кроуз Х. Р. Изотопное фракционирование селена при восстановлении до SeO и H₂Se (оксида селена и селеноводорода). Канадский журнал химического машиностроения. 63, 3195-3199(1985).
10. Миллс Т. Р. Практическое разделение изотопов серы способом дистилляции. Наука и технология сепарирования. 25, 1919-1930 (1990).
11. Каладо, Дж.С.Г., Диас, Ф.А., Лопес, Дж.Н.С. & Ребело, Л.П.Н. Давление пара и связанные с ним термодинамические свойства Аргона 36. Журнал физической химии. В 104, 8735-8742 (2000).
12. Чиалво, А. А., Хорита, Дж. Изотопное влияние на фазовые равновесия атомных жидкостей и их смесей: прямое сравнение между молекулярным моделированием и экспериментом. Журнал химической физики. 119, 4458-4467 (2003).
13. Лопес Дж.Н.С, Падуа, А.А.Х., Ребело, Л.П.Н., Бигелейзен Дж. Расчет изотопных эффектов давления пара в инертных газах и их смесях с использованием теории интегральных уравнений. Журнал химической физики. 118, 5028-5037 (2003).
14. Глиган М., Дульф Э., Унгурсан М.-Л. и Фестила, С. Предварительные сведения об общем моделировании криогенной перегонки с применением изотопного разделения (¹³C), в 1, 155-158 (IEEE, 2006).
15. Ои, Т. и Отсубо, А. Возвращаемся к изотопным эффектам давления пара воды, изучаемым с помощью молекулярно-орбитальных расчетов. Журнал ядерной науки и техники. 47, 323-328 (2010).
16. Бак, Х.О. и другие авторы. Источенный аргон из подземных источников. Журнал "Физика". 37, 1105-1112 (2012).
17. Неага, А.О. и другие авторы. Упрощенная математическая модель криогенной дистилляции с применением изотопной перегонной колонны ¹³C. Материалы конференции AIP. 1425, 189-192(2012).
18. Дульф, Е.-Х., Поп, С.-И., Дульф, Ф. Систематическое моделирование процесса криогенной перегонки изотопа (¹³C). 47, 1234-1240 (2012).

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Криогенная перегонная колонна (100) для разделения изотопов, включающая, по крайней мере, нижний ребойлер (4), верхний конденсатор (3) и секцию центральной колонны, включающую по крайней мере один сильфон для компенсации теплового расширения и/или сжатия, причем указанная колонна соединяется со стенкой несущей конструкции с помощью соединительных средств, характеризующаяся тем, что указанная секция центральной перегонной колонны включает по крайней мере один или несколько центральных модульных элементов (5...5_n), причем указанный модуль или модульные элементы (5...5_n) включают по крайней мере один элемент теплоизоляционного резервуара (22...22_n) и по крайней мере один элемент внутренней модульной колонны (23...23_n), заключенный внутри указанного элемента теплоизоляционного резервуара (22...22_n), причем указанный резервуар обеспечивает теплоизоляцию указанного элемента внутренней колонны, при этом один или множество указанных модулей включают по крайней мере один или несколько сильфонов для компенсации теплового расширения по высоте колонны.

2. Перегонная колонна (100) для разделения изотопов по п.1, в которой один или несколько из указанных элементов внешнего теплоизоляционного резервуара (22) включают сильфоны (26), то есть часть резервуара (22) заменяется одним или несколькими сильфонами (26) для компенсации теплового расширения или сжатия, вызванного меньшими колебаниями температуры окружающей среды.

3. Перегонная колонна (100) для разделения изотопов по предыдущим пунктам, в которой указанный по крайней мере один элемент внешнего резервуара (22) и указанный по крайней мере один элемент внутренней колонны (23) соединены в одной точке с помощью неподвижного соединения, или же такое соединение отсутствует, и в одной или нескольких точках с помощью скользящих соединений, скользящих успокоителей, цепных соединений или других средств, которые позволяют регулировать положение элементов внутренней колонны относительно элемента внешнего резервуара в осевом направлении, части по крайней мере одного резервуара (22) и элемента внутренней колонны (23) не соединены с помощью неподвижного соединения, так что они могут свободно скользить в осевом направлении для локальной компенсации, в пределах высоты модуля (5), теплового расширения или сжатия любых их частей.

4. Перегонная колонна (100) для разделения изотопов по предыдущим пунктам, в которой пространство (27) между теплоизоляционным резервуаром (22) и элементом внутренней колонны (23) либо работает под вакуумом с элементом колонны (23), обернутым многослойной изоляцией, либо заполнено

специальным изоляционным материалом, пригодным для работы колонны в качестве криогенной перегонной колонны, так что минимизируется теплопередача и минимизируется влияние изменений температуры внутренних модульных элементов (23) на элементы внешнего резервуара (22).

5. Перегонная колонна (100) для разделения изотопов по предыдущим пунктам, в которой перегонная колонна включает служебные трубопроводы, а сифоны также имеются на служебных трубопроводах, которые расположены в пространстве (27) между внутренней колонной (23) и внешним теплоизоляционным резервуаром (22), снаружи внутренней колонны и внутри внешнего теплоизоляционного резервуара.

6. Перегонная колонна (100) для разделения изотопов по предыдущим пунктам, в которой указанная модульная колонна (1) включает экономичный теплообменник для снижения стоимости процесса разделения изотопов за счет восстановления энтальпии, израсходованной и полученной в ребойлере и конденсаторе.

7. Перегонная колонна (100) для разделения изотопов по предыдущим пунктам, в которой по крайней мере один теплоизоляционный резервуар (22) содержит несколько элементов перегонной колонны (23), и эти колонны соединены либо параллельно, либо последовательно.

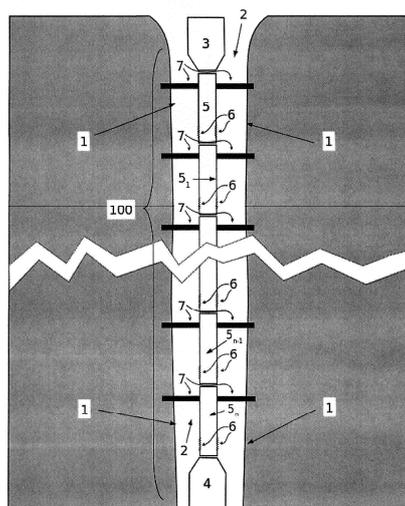
8. Способ сборки криогенной перегонной колонны по предыдущим пунктам, в котором первый модуль ($5...5_n$) включает элементы колонны ($22...22_n$) и элементы окружающего теплоизоляционного резервуара ($23...23_n$), предварительно собранные в модули ($5...5_n$), причем указанные модули ($5...5_n$) имеют индивидуальную высоту в диапазоне от нескольких метров до нескольких десятков метров, чтобы их можно было легко транспортировать со строительной площадки, модули затем последовательно собираются на месте их окончательной установки, будучи сложенными и последовательно соединенными один на другой внутри шахтного ствола или несущей конструкции.

9. Способ сборки криогенной перегонной колонны (100) для разделения изотопов по п.9, в котором указанные модульные элементы сначала размещаются в их окончательном положении, а затем соединяются вместе либо путем сварки последней секции каждого модуля (5_{n-1}) со следующей секцией (5_n), либо путем соединения двух секций посредством фланцев.

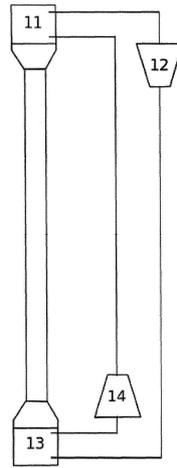
10. Способ сборки криогенной перегонной колонны (100) для разделения изотопов по пп.9-10, в котором модуль ($5...5_n$) соединен со структурными опорами (28), которые соединены с платформой (29), прикрепленной к конструкционным плитам (30), прикрепленным к стенкам шахты или шахтного ствола, непосредственно или через другие конструкционные элементы, либо с помощью анкерных болтов (31) или другого типа соединений со стенками шахты или с породой, окружающей стенку шахты, в том числе с помощью шпунтовых соединений, закрепленных в выемках, утопленных в стенках шахты или окружающей породе.

11. Способ сборки криогенной перегонной колонны (100) для разделения изотопов по пп.9-11, в котором модуль ($5...5_n$) соединен с структурными опорами (28), которые соединены с платформой (29), прикрепленной к любой внешней раме опоры, такой как очень высокая башня.

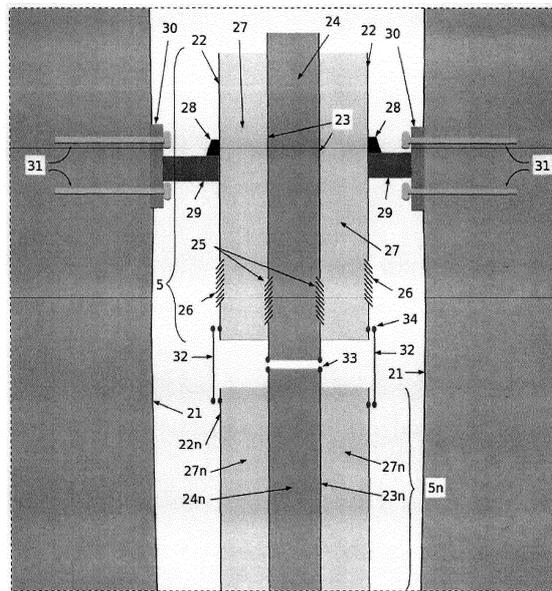
12. Способ сборки криогенной перегонной колонны (100) для разделения изотопов по пп.9-12, в котором хладагент заменяется инертным элементом, таким как аргон, криптон или ксенон, для расширения диапазона рабочих температур процесса.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

