

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 201891404 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2019.01.31

(51) Int. Cl. C07C 273/10 (2006.01)  
C01B 3/02 (2006.01)  
C01C 1/04 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2016.12.08

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ СИНТЕЗА МОЧЕВИНЫ

(31) 10 2015 121 756.2

(32) 2015.12.14

(33) DE

(86) PCT/EP2016/080275

(87) WO 2017/102546 2017.06.22

(71) Заявитель:

ТИССЕНКРУПП ИНДАСТРИАЛ  
СОЛЮШНЗ АГ; ТИССЕНКРУПП АГ  
(DE)

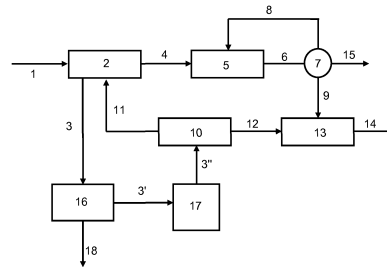
(72) Изобретатель:

Махиня Евгений, Йоханнинг  
Йоахим, Досталь Даниела (DE)

(74) Представитель:

Чекалкин А.Ю., Фелицына С.Б. (RU)

(57) Изобретение относится к способу выделения диоксида углерода из газов, содержащих CO<sub>2</sub>, и к установке для получения диоксида углерода для синтеза мочевины.



201891404 A1

201891404

A1

## СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ СИНТЕЗА МОЧЕВИНЫ

Настоящее изобретение относится к способу выделения диоксида углерода из газов, содержащих  $\text{CO}_2$ , и к устройству для получения диоксида углерода для синтеза мочевины.

В настоящее время промышленное получение мочевины основано практически исключительно на синтезе из аммиака и диоксида углерода в установке получения мочевины при высоком давлении приблизительно при 150 бар и температуре около  $180^\circ\text{C}$ .

Обычно два исходных материала для синтеза мочевины предоставляет установка синтеза аммиака, которая обычно находится в непосредственной близости от рассматриваемой установки синтеза мочевины. Диоксид углерода, необходимый для синтеза мочевины, получается при производстве газа синтеза на установке синтеза аммиака, как составная часть неочищенного газа синтеза после риформинга. Поскольку диоксид углерода может отравлять катализатор синтеза аммиака, его необходимо удалять из газа синтеза. С этой целью, в уровне техники известно использование колонн промывки регенеративного газа, для которых доступно относительно большое количество растворителей селективного действия.

Так как аммиак обычно присутствует в жидкой форме в пределах завода по производству аммиака, его можно сжать до уровня давления в установке синтеза мочевины только при ограниченных затратах в показателях энергии и оборудования. Однако диоксид углерода получается в газообразной форме на установке синтеза аммиака. По этой причине требуются непропорционально большие затраты в показателях энергии и оборудования для повышения давления для того, чтобы довести давление диоксида углерода до уровня в установке синтеза мочевины.

Объединение установок синтеза аммиака и мочевины, где диоксид углерода отделяется с использованием аммиака или смесей аммиака/воды, известно из уровня техники. Преимущественно, диоксид углерода химически связывается в виде ионов карбамата и карбоната в растворе и затем может быть введен в синтез мочевины при относительно малых затратах на перекачивание.

В прошлом были предложены различные концепции для объединения технологических сторон установок получения аммиака и мочевины с целью снижения общего потребления энергии для сжатия  $\text{CO}_2$ , а также общих затрат в показателях оборудования для установок. Аналогичным аспектом во всех указанных концепциях является то, что все количество  $\text{CO}_2$  удаляется из газа синтеза с помощью аммиака, являющегося свойственным процессу, причем образующаяся смесь поступает без

дополнительной обработки в синтез мочевины. Это называется “полностью интегрированный комплекс производства аммиака и мочевины”.

В документе DE 1 668 547 раскрыт способ получения аммиака и мочевины, который отличается тем, что газ синтеза аммиака, содержащий диоксид углерода, азот и водород, вводится в первую зону, в которой поддерживаются такие условия, чтобы диоксид углерода выделялся из газа синтеза в жидкость, содержащую аммиак, и получается конденсат, содержащий карбамат аммония, и тем, что оставшийся газ синтеза аммиака вводится в зону синтеза аммиака, а конденсат вводится во вторую зону, в которой поддерживаются условия, подходящие для получения мочевины из конденсата. Это является типичным примером полностью интегрированного процесса, причем здесь отсутствует непосредственное выделение  $\text{CO}_2$ .

В документе DE 26 13 102 C2 раскрыт способ одновременного получения аммиака и мочевины, в котором газообразная смесь, образованная из диоксида углерода, азота и водорода, и которая получена при риформинге углеводородов, с последующим превращением  $\text{CO}$ , подается в колонну абсорбции диоксида углерода с использованием аммиачного раствора, который получен при абсорбции аммиака из синтеза аммиака с помощью воды, и образовавшийся таким образом раствор карбамата аммония вводится в синтез мочевины.

В обоих указанных способах раствор карбамата аммония направляют непосредственно в синтез мочевины. Однако подробное исследование показало, что таким образом невозможно реализовать энергетически выгодное общее решение. В целом, синтез мочевины из аммиака и диоксида углерода является экзотермическим процессом. Он состоит из относительно сильно экзотермического и сравнительно быстрого взаимодействия исходных материалов с образованием карбамата аммония, и существенно более медленного и эндотермического разложения карбамата с образованием мочевины и воды. Хорошая энергетическая эффективность суммарного процесса может быть достигнута только, когда теплота реакции, выделившаяся в реакции образования карбамата, используется для получения мочевины.

Кроме того, известным является факт, что запуск интегрированной установки, образованной из установки синтеза аммиака и установки синтеза мочевины, является сложным, и что отдельная эксплуатация указанных установок получения аммиака или мочевины не может быть осуществлена.

Большое количество тепла выделяется при образовании карбамата в колонне промывки  $\text{CO}_2$  с использованием аммиака или смесей аммиака и воды. Вода могла бы отбирать тепло с гораздо большей эффективностью, чем аммиак, но она присутствует

только в небольшом количестве, если вообще присутствует. Поэтому необходимо использовать охлаждение для того, чтобы удерживать аммиак. Однако в предложенных до сих пор концепциях, это тепло главным образом подлежит отведению без утилизации, с помощью охлаждающей воды. Тогда количество тепла, необходимое для реактора синтеза мочевины требуется обеспечить дополнительно, и энергетический баланс процесса становится менее выгодным. Кроме того, значительное дополнительное количество воды вводится с потоком карбамата в синтез мочевины в процессах, описанных в уровне техники, в результате чего ухудшается равновесие реакции образования мочевины. Без дополнительного введения воды, выход мочевины в идеальных условиях составляет около 45%. Каждая дополнительно введенная молекула воды снижает выход. Всестороннюю информацию можно найти в литературе, например, в статье S. Kawasumi, Равновесие в системе  $\text{CO}_2\text{-NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ -Мочевина при высоких температуре и давлении. III. Влияние добавленной воды на равновесие пар-жидкая фаза, Bull. Chem. Soc. Jap, том 26 (1953), № 5, с. 218-222.

В документе DE 32 39 605 A1 раскрыт способ совместного получения аммиака и мочевины, в котором газ синтеза аммиака, по существу состоящий из водорода, азота и диоксида углерода, подвергается обработке в колонне промывки под давлением при температуре не выше, чем температура окружающей среды, для того, чтобы удалить кислотные примеси, в частности диоксид углерода, с использованием растворителя физического действия, после чего частично сбрасывается давление нагруженного растворителя, что вызывает удаление инертных газов, причем в последующем растворитель регенерируется при атмосферном давлении и рециркулируется в колонну промывки под давлением, а диоксид углерода, выделяющийся при регенерации, используется для синтеза мочевины. Однако в этом способе достигается только небольшое уменьшение возможной энергии сжатия. Кроме того, в этом способе только часть диоксида углерода выделяется из растворителя при относительно высоком давлении. Поэтому в этом способе также все еще необходим компрессор  $\text{CO}_2$ .

Следовательно, полностью интегрированные способы и оборудование для получения мочевины, которые известны, являются неудовлетворительными в каждом пункте, и существует потребность в усовершенствованных способах и оборудовании. В настоящее время не известен действующий полностью интегрированный завод, имеющий номинальную производительность, например, 1000 метрических тонн/сутки.

Указанная цель достигается объектом формулы изобретения и описания.

Первый аспект изобретения относится к способу, предназначенному для обеспечения  $\text{CO}_2$  для синтеза мочевины и для получения мочевины, который включает в

себя следующие стадии, на которых:

а) обеспечивают газообразный поток А, содержащий водород, азот и диоксид углерода;

б) удаляют по меньшей мере часть диоксида углерода из газообразного потока А с помощью растворителя с образованием газообразного потока В, обедненного диоксидом углерода, и растворителя, нагруженного диоксидом углерода;

с) осуществляют синтез аммиака из по меньшей мере части водорода и по меньшей мере части азота, которые присутствуют в газообразном потоке В;

д) осуществляют десорбцию диоксида углерода из нагруженного растворителя со стадии (б); и

е) осуществляют синтез мочевины из по меньшей мере части аммиака, синтезированного на стадии (с), и по меньшей мере и части диоксида углерода, десорбированного на стадии (д);

в котором десорбцию диоксида углерода на стадии (д) осуществляют при более высоком давлении, чем синтез мочевины на стадии (е).

На стадии (а) способа согласно изобретению, обеспечивают газообразный поток А, содержащий, главным образом, водород, азот и диоксид углерода. Газообразный поток А необязательно может содержать предпочтительно инертные компоненты, такие как метан, аргон, монооксид углерода и/или гелий. Газообразный поток А предпочтительно получен как газ синтеза из углеводородов, предпочтительно из природного газа, воды в виде пара и воздуха или кислорода путем риформинга с последующей очисткой газа. Подходящие процессы получения указанного газа синтеза известны специалистам в этой области техники и всесторонний обзор по этой теме сделан, например, в книге А. Nielsen, I. Dybkjaer, Ammonia - Catalysis and Manufacture, Springer Berlin 1995, глава 6, с. 202-326; М. Appl, Ammonia. Principles и Industrial Practice, WILEY-VCH Verlag GmbH 1999. В предпочтительном варианте осуществления по меньшей мере часть газообразного потока А обеспечивают паровым риформингом и/или автотермическим риформингом.

Газообразный поток А, обеспеченный на стадии (а) способа согласно изобретению в виде газа синтеза, может быть предварительно подвергнут традиционному процессу обработки, например, удалению гелия, обессериванию природного газа и/или превращению монооксида углерода в диоксид углерода.

На стадии (б) способа согласно изобретению по меньшей мере часть диоксида углерода из газообразного потока А удаляют с помощью растворителя с образованием обедненного диоксидом углерода газообразного потока В и растворителя, нагруженного диоксидом углерода. Здесь газообразный поток может быть охлажден до температуры 30-

70°C.

В предпочтительном варианте осуществления, растворитель, с использованием которого диоксид углерода выделяется на стадии (b), представляет собой смесь аммиака и воды. Предпочтительно, доля аммиака в смеси аммиака и воды находится в диапазоне от 1 до 50 масс.%, более предпочтительно в диапазоне от 5 до 45 масс.%, в диапазоне от 10 до 40 масс.%, в диапазоне от 15 до 35 масс.%, в диапазоне от 20 до 30 масс.% и особенно предпочтительно в диапазоне от 20 до 25 масс.%. В смеси аммиака и воды диоксид углерода предпочтительно химически связан в форме ионов карбамата и/или карбоната.

На стадии (c) способа согласно изобретению, аммиак синтезируют из по меньшей мере части водорода и по меньшей мере части азота, которые присутствуют в газообразном потоке В. С этой целью, газообразный поток В вводят в реактор синтеза аммиака. Газообразный поток В все еще может содержать остатки диоксида углерода и/или монооксида углерода, которые предпочтительно выделяют, например, криогенными методами или с использованием адсорбции при переменном давлении, из газообразного потока В до синтеза аммиака. Предпочтительно эти остатки превращают путем метанирования в метан. Подходящие процессы для гидрирования монооксида углерода и диоксида углерода с образованием метана известны специалистам в этой области техники. В результате метанирования снижается содержание монооксида углерода, и необязательно также и диоксида углерода, в газообразном потоке В и увеличивается содержание метана в газообразном потоке. Газообразный поток В необязательно сжимают до повышенного давления, предпочтительно до давления в диапазоне от 120 до 250 бар, более предпочтительно, в диапазоне от 180 до 220 бар, до синтеза аммиака. Предпочтительно, реактор синтеза аммиака содержит по меньшей мере один слой катализатора, через который газообразный поток В проходит не совершенно по оси, но преимущественно радиально, предпочтительно снаружи внутрь. Затем по меньшей мере часть аммиака, образовавшегося в реакторе синтеза аммиака, предпочтительно выделяют из потока полученного продукта путем охлаждения; для этой цели газообразный поток предпочтительно сначала пропускают через первый теплообменник и затем через аппарат для конденсации. Здесь газообразный поток охлаждают, предпочтительно до температуры в диапазоне от -15°C до -79°C, более предпочтительно в диапазоне от -25°C до -79°C, в диапазоне от -35°C до -79°C или в диапазоне от -35°C до -50°C для того, чтобы аммиак мог конденсироваться в указанных условиях, и таким образом, отделяться из газообразной фазы путем фазового разделения.

В предпочтительном варианте осуществления растворитель, нагруженный диоксидом углерода, подвергают по меньшей мере частичному сбрасыванию давления,

после стадии (b) и до стадии (d) для того, чтобы удалить из растворителя такие компоненты, как, например, водород и азот, которые были соабсорбированы на стадии (b). С указанной целью, растворитель, нагруженный диоксидом углерода, после стадии (b) направляют через промежуточную стадию сбрасывания давления (мгновенное испарение), чтобы удалить инертные газы. Для рекуперации энергии при сбрасывании давления нагруженного растворителя может быть использована гидротурбина. Давление растворителя, нагруженного диоксидом углерода, предпочтительно сбрасывают до величины ниже 10 бар после стадии (b) и до стадии (d). Это решение используется в промышленности на сопоставимых участках и известно специалистам в этой области техники.

Раствор, подвергнутый сбрасыванию давления, который все еще нагружен  $\text{CO}_2$ , сжимают с помощью насоса. Заданное давление предпочтительно должно быть выше, чем давление синтеза мочевины и достаточно высоким, чтобы компенсировать падение давления в теплообменнике, в десорбционной колонне и в трубопроводах. На практике падение давления обычно не превышает величину 30 бар. В другом предпочтительном варианте осуществления, заданное давление должно быть по меньшей мере настолько выше давления в синтезе мочевины, чтобы можно было вводить  $\text{CO}_2$  в реактор синтеза мочевины предпочтительно без дополнительного сжатия, несмотря на падение давления в трубопроводах, регулирующих клапанах и оборудовании, расположенном на пути потока между насосом и реактором синтеза мочевины. Предпочтительно, заданное давление по меньшей мере на 1 бар, более предпочтительно по меньшей мере на 2 бар, по меньшей мере на 4 бар, по меньшей мере на 6 бар, по меньшей мере на 8 бар, по меньшей мере на 10 бар, по меньшей мере на 20 бар или по меньшей мере на 30 бар выше давления синтеза мочевины. В другом предпочтительном варианте осуществления, заданное давление настолько выше давления в синтезе мочевины, что разность давления между заданным давлением и давлением синтеза мочевины находится в диапазоне от 1 до 40 бар, более предпочтительно в диапазоне от 2 до 30 бар или в диапазоне от 5 до 20 бар.

На стадии (d) способа согласно изобретению, диоксид углерода десорбируют из растворителя в подходящем оборудовании для десорбции, предпочтительно в десорбционной колонне, которая предпочтительно выполнена в виде ректификационной колонны. Десорбцию предпочтительно осуществляют путем нагревания растворителя, который предпочтительно имеет температуру кипения выше, чем у диоксида углерода. Предпочтительно десорбцию диоксида углерода проводят при более высоком давлении, чем синтез мочевины на стадии (e), и разность между давлением, при котором осуществляют десорбцию, и давлением, при котором осуществляют синтез мочевины на

стадии (е), предпочтительно является достаточно большой, чтобы компенсировать любое падение давления диоксида углерода, происходящее на пути к стадии синтеза мочевины. Давление, при котором осуществляют десорбцию диоксида углерода предпочтительно по меньшей мере на 1 бар выше давления, при котором синтезируют мочевину, более предпочтительно по меньшей мере на 2 бар, по меньшей мере на 4 бар, по меньшей мере на 6 бар, по меньшей мере на 8 бар, по меньшей мере на 10 бар, по меньшей мере на 20 бар или по меньшей мере на 30 бар. В другом предпочтительном варианте осуществления, десорбцию диоксида углерода проводят при давлении, которое выше давления синтеза мочевины, таким образом, что разность давления между стадией десорбции диоксида углерода и стадией синтеза мочевины находится в диапазоне от 1 до 40 бар, более предпочтительно в диапазоне от 2 до 30 бар или в диапазоне от 5 до 20 бар. Температура, при которой проводят десорбцию на стадии (d), предпочтительно выбирается таким образом, чтобы в каждом случае диоксид углерода мог десорбироваться при преобладающем давлении. Эта температура определяется конкретным давлением синтеза мочевины и необходимым избытком давления для преодоления падения давления. Типичное давление синтеза мочевины составляет от по меньшей мере 120 бар до 150 бар, и избыток давления предпочтительно составляет по меньшей мере 1 бар, более предпочтительно по меньшей мере 2 бар, по меньшей мере 3 бар, по меньшей мере 4 бар, по меньшей мере 5 бар, по меньшей мере 6 бар, по меньшей мере 8 бар, по меньшей мере 10 бар, по меньшей мере 20 бар или по меньшей мере 30 бар. В предпочтительном варианте осуществления, десорбцию диоксида углерода проводят при температуре в диапазоне от 100°C до 300°C, более предпочтительно в диапазоне от 130°C до 270°C, в диапазоне от 150°C до 250°C или в диапазоне от 170 до 230°C.

На стадии (е) способа согласно изобретению, мочевину синтезируют из по меньшей мере части аммиака, синтезированного на стадии (с), и по меньшей мере части диоксида углерода, десорбированного на стадии (d). С указанной целью аммиак, синтезированный на стадии (с), предпочтительно сначала сжимают, предпочтительно до давления по меньшей мере 100 бар, более предпочтительно до давления по меньшей мере 120 бар, по меньшей мере 140 бар или по меньшей мере до 150 бар.

Предпочтительно синтез мочевины проводят при давлении в диапазоне от 100 до 300 бар, более предпочтительно в диапазоне от 120 до 200 бар или в диапазоне от 140 до 160 бар. Продукт, полученный на стадии (е), по существу содержит мочевину, воду, и карбамат аммония, а также, возможно, непрореагировавшие аммиак и диоксид углерода. Карбамат аммония, аммиак, а также диоксид углерода подлежат удалению из раствора, и затем их можно снова подавать в реактор синтеза мочевины. Обычно это удаление



достигается путем отпаривания с помощью  $\text{CO}_2$  или  $\text{NH}_3$ . Указанные процессы для установки синтеза мочевины известны специалистам в данной области из уровня техники. Предпочтительно синтез мочевины проводят в традиционной установке синтеза мочевины, структура которой известна специалистам в этой области техники.

Десорбцию диоксида углерода на стадии (d) проводят при давлении выше давления при синтезе мочевины на стадии (e). Предпочтительно десорбцию диоксида углерода на стадии (d) проводят при давлении, которое по меньшей мере на 1 бар выше давления, при котором синтезируют мочевины, более предпочтительно по меньшей мере на 2 бар, по меньшей мере на 3 бар, по меньшей мере на 4 бар, по меньшей мере на 5 бар, по меньшей мере на 6 бар, по меньшей мере на 10 бар, по меньшей мере на 20 бар, по меньшей мере на 30 бар, предпочтительно при давлении по меньшей мере 120 бар, более предпочтительно по меньшей мере 140 бар. В другом предпочтительном варианте осуществления, десорбцию диоксида углерода проводят при давлении, которое выше давления синтеза мочевины, так что разность между давлением, при котором проводят десорбцию диоксида углерода, и давлением синтеза мочевины находится в диапазоне от 1 до 40 бар, более предпочтительно в диапазоне от 2 до 30 бар или в диапазоне от 5 до 20 бар. Предпочтительно диоксид углерода можно подавать непосредственно в синтез мочевины на стадии (e) без дополнительного сжатия после десорбции на стадии (d).

Неожиданно было обнаружено, что диоксид углерода необходимой степени чистоты можно десорбировать из растворителя с использованием по-прежнему умеренного уровня температуры. Однако необходимый уровень температуры, приблизительно при  $200^\circ\text{C}$ , является настолько высоким, что концепцию с использованием традиционных растворителей невозможно реализовать из-за ограниченной термостабильности растворителей. Вследствие относительно высокого давления паров, даже при умеренной температуре, и относительно высокой теплоты десорбции, использование аммиака в указанной форме в качестве чистого растворителя в колонне промывки газа является неочевидным. Кроме того, в способе согласно изобретению, в отличие от известного уровня техники (сравните, например, документы DE 1 668 547 или DE 26 13 102 C2) в значительной степени можно избежать дополнительного введения воды с диоксидом углерода в синтез мочевины.

В предпочтительном варианте осуществления, энергия, необходимая для десорбции диоксида углерода на стадии (d), обеспечивается водяным паром, который генерируется, например, в синтезе аммиака. В предпочтительном варианте осуществления водяной пар, который может быть использован при десорбции диоксида углерода, получается с помощью технологического тепла, выделяющегося в синтезе аммиака. В

этом случае водяной пар предпочтительно проходит через теплообменник, и в результате часть энергии, необходимой для десорбции, передается растворителю, содержащему диоксида углерода.

Неожиданно было обнаружено, что количество тепла, необходимое для десорбции диоксида углерода на стадии (d) и количество тепла, необходимое для удаления диоксида углерода на стадии (b), может стать доступным с использованием ограниченной модификации системы подачи водяного пара в объединенной установке, производящей аммиак и мочевины. Поскольку десорбция диоксида углерода на стадии (d) происходит при более высоком давлении, чем синтез мочевины на стадии (e), диоксид углерода, выделившийся после десорбции, может быть использован без дополнительного сжатия в синтезе мочевины; в результате этого может быть исключен компрессор диоксида углерода. Поскольку для привода компрессора диоксида углерода потребляется водяной пар, достигается значительное снижение потребления энергии.

При допущении, что:

- установка получения мочевины в значительной степени не изменяется,
- для удаления диоксида углерода с помощью аммиака или растворов аммиака в воде требуются аналогичные затраты в показателях оборудования, как и для колонн промывки диоксида углерода, которые соответствуют уровню техники и используются в построенных в настоящее время установках синтеза аммиака, и
- модификация системы подачи водяного пара, в основном, является незатратной, исключение компрессора диоксида углерода, включая его вспомогательное оборудование (турбина привода, промежуточный охладитель, масляная система и др.), приводит к существенному снижению капитальных затрат установки.

Отдельная эксплуатация установки по производству аммиака без установки по производству мочевины также возможна в случае указанной концепции, так как давление диоксида углерода, который был выделен, сбрасывается с минимальными затратами и затем диоксид углерода можно выпускать в окружающую среду, как в традиционном процессе. Индивидуальная эксплуатация установки синтеза мочевины уже не может быть легко реализована без дополнительного оборудования для обеспечения диоксида углерода под давлением на уровне синтеза мочевины.

В предпочтительном варианте осуществления, синтез мочевины на стадии (e) включает в себя подреакции (i) и (ii):

- (i) образование карбамата аммония из аммиака и диоксида углерода; и
- (ii) превращение карбамата аммония в мочевины и воду;

где энергию для эндотермичной подреакции (ii) по меньшей мере частично

получают из экзотермичной подреакции (i).

Эти две подреакции, в связи с размерами оборудования, предпочтительно, но не обязательно, проводят в отдельных реакционных аппаратах, которые предпочтительно расположены в непосредственной близости друг от друга, так что тепло, высвобождаемое при образовании карбамата аммония из аммиака и диоксида углерода, в значительной степени может быть использовано без потерь на дегидратацию карбамата аммония. Таким образом, возможна реализация энергетически благоприятного общего решения, поскольку теплота реакции образования карбамата используется для образования мочевины и не удаляется без использования с помощью охлаждающей воды.

Дополнительный аспект изобретения относится к установке для получения мочевины, содержащей следующие взаимосвязанные компоненты:

(A) устройство для обеспечения газообразного потока, содержащего водород, азот и диоксид углерода;

(B) средство для удаления по меньшей мере части диоксида углерода из газообразного потока с помощью растворителя;

(C) установку синтеза аммиака, содержащую реактор синтеза аммиака, предназначенный для синтеза аммиака из по меньшей мере части водорода и по меньшей мере части азота, которые находятся в указанном газообразном потоке;

(D) средство для десорбции диоксида углерода из указанного растворителя; и

(E) установку синтеза мочевины, содержащую реактор синтеза мочевины, предназначенный для синтеза мочевины из по меньшей мере части аммиака, полученного в установке синтеза аммиака, и по меньшей мере части диоксида углерода, десорбированного из растворителя;

причем указанное средство для десорбции диоксида углерода эксплуатируется при более высоком давлении, чем установка синтеза мочевины.

Все предпочтительные варианты осуществления, описанные в связи со способом согласно изобретению, аналогично применяются к установке согласно изобретению и поэтому можно не повторять их в этом месте описания.

Установка согласно изобретению содержит устройство для обеспечения газообразного потока, содержащего водород, азот, диоксида углерода и необязательно дополнительные инертные компоненты. Устройство для обеспечения газообразного потока предпочтительно содержит установку парового риформинга и/или установку автотермического риформинга. Если устройство содержит установку автотермического риформинга, то количество диоксида углерода, которое образуется в установке автотермического риформинга можно регулировать путем изменения таких параметров

процесса, как давление или отношение водяной пар/углерод. Предпочтение отдается именно такому количеству диоксида углерода, чтобы аммиак, образовавшийся в установке получения аммиака, мог взаимодействовать, предпочтительно полностью, с диоксидом углерода с образованием мочевины.

Кроме того, установка согласно изобретению содержит средство для удаления по меньшей мере части диоксида углерода с использованием растворителя. Средство для удаления по меньшей мере части диоксида углерода предпочтительно содержит колонну промывки водным аммиаком.

Установка согласно изобретению также содержит установку синтеза аммиака, содержащую реактор синтеза аммиака, предназначенный для синтеза аммиака из по меньшей мере части водорода и по меньшей мере части азота, присутствующих в газообразном потоке. Реактор синтеза аммиака предпочтительно содержит по меньшей мере один слой катализатора, через который газообразный поток предпочтительно проходит не исключительно аксиально, но преимущественно радиально, предпочтительно снаружи внутрь.

Кроме того, установка согласно изобретению содержит средство для десорбции диоксида углерода из растворителя. Например, средство для десорбции может содержать дистилляционную колонну. Средство для десорбции диоксида углерода, в частности дистилляционная колонна, предпочтительно эксплуатируется под давлением, которое выше давления, при котором эксплуатируется установка синтеза мочевины, и которое является достаточно высоким, чтобы преодолеть падение давления диоксида углерода вплоть до входа в установку синтеза мочевины. Давление, при котором эксплуатируется средство для десорбции диоксида углерода, предпочтительно по меньшей мере на 1 бар выше, чем давление, при котором эксплуатируется установка синтеза мочевины, более предпочтительно по меньшей мере на 2 бар, по меньшей мере на 3 бар, по меньшей мере на 4 бар, по меньшей мере на 5 бар, по меньшей мере на 6 бар, по меньшей мере на 8 бар, по меньшей мере на 10 бар, по меньшей мере на 20 бар или по меньшей мере на 30 бар. Средство для десорбции диоксида углерода предпочтительно эксплуатируется при давлении равном по меньшей мере 120 бар, более предпочтительно по меньшей мере 150 бар. В другом предпочтительном варианте осуществления, средство для десорбции диоксида углерода эксплуатируется при более высоком давлении, чем установка синтеза мочевины, так что разность между давлением, при котором эксплуатируется средство для десорбции диоксида углерода, и давлением, при котором эксплуатируется установка синтеза мочевины, находится в диапазоне от 1 до 40 бар, более предпочтительно в диапазоне от 2 до 30 бар или в диапазоне от 5 до 20 бар.

Установка согласно изобретению также содержит установку синтеза мочевины. Предпочтительно установка синтеза мочевины содержит две пространственно разделённые реакционные камеры, причем в первой камере предпочтительно протекает взаимодействие диоксида углерода и аммиака с образованием карбамата аммония, а во второй реакционной камере предпочтительно протекает дегидратация карбамата аммония.

Предпочтительно средство для десорбции диоксида углерода эксплуатируется при давлении, которое выше давления, при котором эксплуатируется установка синтеза мочевины, причем разность между давлением, при котором эксплуатируется средство для десорбции диоксида углерода, и давлением, при котором эксплуатируется установка синтеза мочевины, является достаточно большой, чтобы компенсировать любое падение давления диоксида углерода, происходящее до входа в установку синтеза мочевины. Предпочтительно, средство для десорбции диоксида углерода эксплуатируется при давлении, которое по меньшей мере на 1 бар выше давления, при котором эксплуатируется установка синтеза мочевины, более предпочтительно по меньшей мере на 2 бар, по меньшей мере на 3 бар, по меньшей мере на 4 бар, по меньшей мере на 5 бар, по меньшей мере на 6 бар, по меньшей мере на 8 бар, по меньшей мере на 10 бар, по меньшей мере на 20 бар, или по меньшей мере на 30 бар. В другом предпочтительном варианте осуществления, средство для десорбции диоксида углерода эксплуатируется при более высоком давлении, чем установка синтеза мочевины, так что разность между давлением, при котором эксплуатируется средство для десорбции диоксида углерода, и давлением, при котором эксплуатируется установка синтеза мочевины, находится в диапазоне от 1 до 40 бар, более предпочтительно в диапазоне от 2 до 30 бар или в диапазоне от 5 до 20 бар. Соответственно, предпочтение отдается отсутствию дополнительного средства для сжатия диоксида углерода, которое расположено между средством для десорбции диоксида углерода и установкой синтеза мочевины.

Установка согласно изобретению особенно подходит для осуществления способа согласно изобретению. Поэтому дополнительный аспект изобретения относится к применению установки согласно изобретению в способе согласно изобретению.

На фиг. 1 показано, в качестве примера, направление потоков в установке согласно изобретению.

Газообразный поток А (1), который содержит водород, азот, монооксид углерода, диоксид углерода и, возможно, дополнительные компоненты, которые инертны в условиях установки синтеза аммиака, например, метан или аргон, предпочтительно обеспечивают паровым риформингом, как вариант автотермическим риформингом. По меньшей мере часть диоксида углерода, присутствующего в газообразном потоке А (1),

удаляют в устройстве (2) разделения, предпочтительно с помощью колонны промывки водным аммиаком. Образовавшийся здесь обедненный диоксидом углерода газообразный поток В (4) подают в установку (5) синтеза аммиака, в которой по меньшей мере часть водорода и по меньшей мере часть азота в газообразном потоке В (4) превращаются в аммиак. Поток (6) продукта, который преимущественно содержит аммиак, водород и азот, отводят из установки (5) синтеза аммиака. По меньшей мере часть аммиака из потока (6) продукта выделяют в устройстве (7) удаления аммиака и подают в качестве потока (9) аммиака в установку (13) синтеза мочевины. По меньшей мере часть аммиака при необходимости может быть подвергнута сжатию после выхода из устройства (7) удаления аммиака. Поток (8) продукта, обедненный аммиаком, подвергают рециркуляции в установку (5) синтеза аммиака. Любой избыточный поток (15) аммиака может направляться для дальнейшего использования, что соответствует уровню техники.

Обогащенный диоксидом углерода растворитель (3), покидающий устройство (2) разделения, при необходимости сначала вводят на промежуточную стадию (16) сбрасывания давления, где из растворителя удаляются любые компоненты (18), которые соабсорбировались в устройстве (2) разделения. Обогащенный диоксидом углерода растворитель (3') предпочтительно сжимают с помощью насоса (17), причем заданное давление предпочтительно составляет на 1 - 30 бар выше давления синтеза мочевины. Обогащенный диоксидом углерода и сжатый растворитель (3'') затем подают в устройство десорбции (10), в котором диоксид углерода (12) десорбируется из потока (3'') растворителя, предпочтительно при давлении, которое выше эксплуатационного давления в установке (13) синтеза мочевины. Поток (11) регенерированного растворителя, который отводят из устройства (10) десорбции, может быть использован повторно в устройстве (2) разделения. По меньшей мере, часть потока (12) диоксида углерода, который десорбирован в устройстве (10) десорбции, подают в установку (13) синтеза мочевины, где диоксид углерода взаимодействует с потоком (9) аммиака, образуя мочевину. Поток (14) мочевины покидает установку (13) синтеза мочевины и необязательно обрабатывается дополнительно.

Перечень позиций для ссылки:

1. Газообразный поток А
2. Устройство разделения
- 3, 3', 3''. Растворитель, обогащенный диоксидом углерода
4. Газообразный поток В
5. Установка синтеза аммиака
6. Поток продукта

7. Устройство удаления аммиака
8. Поток продукта, обедненный аммиаком
9. Поток аммиака
10. Устройство десорбции
11. Поток регенерированного растворителя
12. Поток диоксида углерода
13. Установка синтеза мочевины
14. Поток мочевины
15. Избыточный поток аммиака
16. Промежуточная стадия сбрасывания давления
17. Насос
18. Соабсорбированные компоненты

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения мочевины, включающий в себя следующие стадии, на которых:

а) обеспечивают газообразный поток А (1), содержащий водород, азот и диоксид углерода;

б) удаляют по меньшей мере часть диоксида углерода из газообразного потока А с помощью растворителя с образованием газообразного потока В (4), обедненного диоксидом углерода;

с) осуществляют синтез аммиака из по меньшей мере части водорода и по меньшей мере части азота, которые присутствуют в газообразном потоке В (4);

д) осуществляют десорбцию диоксида углерода (12) из растворителя (3"); и

е) осуществляют синтез мочевины из по меньшей мере части аммиака, синтезированного на стадии (с), и по меньшей мере части диоксида углерода, десорбированного на стадии (д);

в котором десорбцию диоксида углерода на стадии (д) осуществляют при более высоком давлении, чем синтез мочевины на стадии (е).

2. Способ по пункту 1, в котором растворитель, нагруженный диоксидом углерода, подвергают по меньшей мере частичному сбрасыванию давления, после стадии (б) и до стадии (д) для того, чтобы удалить из растворителя компоненты, которые были соабсорбированы на стадии (б).

3. Способ по пункту 1 или 2, в котором десорбцию диоксида углерода на стадии (д) осуществляют при более высоком давлении, чем синтез мочевины на стадии (е), и разность между давлением, при котором осуществляют десорбцию, и давлением, при котором осуществляют синтез мочевины на стадии (е), является достаточно большой, чтобы компенсировать любое падение давления диоксида углерода, происходящее до входа в установку синтеза мочевины.

4. Способ по любому из пунктов 1-3, в котором температура, при которой осуществляют десорбцию на стадии (д), выбрана таким образом, чтобы в каждом случае диоксид углерода мог десорбироваться при преобладающем давлении.

5. Способ по любому из пунктов 1-4, в котором растворитель, с помощью которого диоксид углерода отделяют на стадии (б), содержит смесь аммиака и воды.

6. Способ по любому из пунктов 1-5, в котором десорбцию диоксида углерода на стадии (д) осуществляют в диапазоне температур от 130°C до 270°C.

7. Способ по любому из пунктов 1-6, в котором энергию, необходимую для десорбции диоксида углерода на стадии (д), обеспечивают за счет водяного пара.



8. Способ по пункту 7, в котором водяной пар, который подлежит использованию для десорбции диоксида углерода, получают с помощью технологического тепла, высвобождаемого при синтезе аммиака.

9. Способ по любому из пунктов 1-8, в котором по меньшей мере часть газообразного потока А обеспечивают за счет парового риформинга и/или автотермического риформинга.

10. Способ по любому из пунктов 1-9, в котором синтез мочевины на стадии (e) включает в себя подреакции (i) и (ii):

(i) образования карбамата аммония из аммиака и диоксида углерода; и

(ii) превращения карбамата аммония в мочевины и воду;

причем энергию для эндотермической подреакции (ii) получают по меньшей мере частично из экзотермической подреакции (i).

11. Установка для получения мочевины, содержащая следующие взаимосвязанные компоненты:

(A) устройство для обеспечения газообразного потока, содержащего водород, азот и диоксид углерода;

(B) средство (2) для удаления по меньшей мере части диоксида углерода из газообразного потока с помощью растворителя;

(C) установку (5) синтеза аммиака, содержащую реактор синтеза аммиака, предназначенный для синтеза аммиака из по меньшей мере части водорода и по меньшей мере части азота, которые находятся в газообразных потоках (1) и (4);

(D) средство (10) для десорбции диоксида углерода из растворителя; и

(E) установку (13) синтеза мочевины, содержащую реактор синтеза мочевины, предназначенный для синтеза мочевины из по меньшей мере части аммиака, полученного в установке (5) синтеза аммиака, и по меньшей мере части диоксида углерода, десорбированного из растворителя;

причем средство (10) для десорбции диоксида углерода эксплуатируется при более высоком давлении, чем установка (13) синтеза мочевины.

12. Установка по пункту 11, в которой средство (10) для десорбции диоксида углерода эксплуатируется при давлении, которое выше давления, при котором эксплуатируется установка синтеза мочевины, и разность между давлением, при котором эксплуатируется средство для десорбции диоксида углерода, и давлением, при котором эксплуатируется установка синтеза мочевины, является достаточно большой, чтобы компенсировать любое падение давления диоксида углерода, происходящее до входа в установку синтеза мочевины.

13. Установка по пункту 11 или 12, в которой указанное устройство для обеспечения газообразного потока содержит установку парового риформинга и/или установку автотермического риформинга.

14. Установка по любому из пунктов 11-13, в которой средство (2) для удаления по меньшей мере части диоксида углерода содержит колонну промывки водным аммиаком.

15. Применение установки по любому из пунктов 11-14 в способе по любому из пунктов 1-10.

Figur 1

